

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**



(11)特許出願公開番号  
特開2001-203196  
(P2001-203196A)

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 ローリングメンブレンポンピング・システムを利用して精密な量の流体を分配する方法であって、

特定の分配が一番目の分配以外の分配であるならば、少なくとも部分的に予測されたメンブレン曲がりに基づいて分配を変更する量を計算し、前記の予測されたメンブレン曲がりは少なくとも部分的に一番目の分配中の最大ポンプ・チャンバ圧力に基づいているステップと、

特定の分配が一番目の分配であるならば少なくとも部分的に前記メンブレンの形状に基づいて分配を変更する量を計算するステップと、

前記の計算された量に少なくとも部分的に基づいて前記ポンピング・システムのピストンを動かすステップと、前記ポンピング・システムの出口バルブを開くステップと、

前記ポンプ・チャンバ圧力を監視して前記ポンプ・チャンバ圧力の突然の低下を検出して前記ポンピング・システムにおける機械的故障を信号で知らせるステップと、前記ピストンの前記運動の間に前記ポンプ・チャンバの最大圧力を測定するステップと、を含むことを特徴とする方法。

【請求項2】 前記の出口バルブを開くステップは、前記ポンピング・システムの主コントローラによって実行されることを特徴とする請求項1に記載の方法。

【請求項3】 前記ポンプ・チャンバの前記最大圧力は、ポンプ・チャンバ圧力センサーを定期的に読んで、前記ポンプ・チャンバ圧力センサーから読み出された圧力の最大値を記憶することによって決定されることを特徴とする請求項1に記載の方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、特に粘度の高い流体、並びにプロセス流体廃物及び汚濁物が特別に重要である半導体装置製造プロセスなどの製造プロセスに用いられる流体を正確な量で分配する装置及び方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】多くのプロセスが、ポンピング装置により流体が分配される量及び／又は速度を正確に制御することを必要とする。処理液を確実に均一に塗布すると共に廃物及び不要な消費を避けるために例えば集積回路の製造中に半導体ウェーハに使用される流体を処理する速度及び量の両方が非常に正確に制御される。半導体産業で使われる化学物質の多くは有毒で且つ高価である。正確に分配すれば有毒廃物処理が回避され、且つ製造コストが下がる。気泡或いは粒子或いはその他の外部汚染の形のプロセス流体の汚濁も、多くのプロセスにおいて慎重に制御されなければならない。半導体装置製造プロセスにおける汚濁は、例えば、収量を低下させると共に

プロセス流体が失われ、製造時間がかかるという結果をもたらす。

【0003】例えば、マルチチップ・モジュール(MCM)、高密度相互接続(HDI)部品及びその他の半導体用具の製造は、内側層誘電体としてポリイミド材料の薄い層を付けることを必要とする。ポリイミド・フィルムの所要の厚みは100ミクロンという小ささであることもあり、またポリイミド・フィルムの最終の厚みは均一でなくてはならなくて、通常は該基板或いはウェーハの全体にわたって2%以上変動してはならないので、ポリイミド材料は厳しい精度で付けられなければならない。ポリイミドを半導体製造に用いるのに理想的に適したものとする独特の機械的特性及び電気的特性に加えて、ポリイミドは、厳密な注意を必要とする量だけポリイミドをポンピング或いは供給することを困難にする物理的特性も持っている。具体的には、ポリイミドには粘りけがある。半導体の製造に用いられる多くのポリイミドは400ポアズを上回る粘度を有する。このように高い粘度を有する流体をポンピングするのは困難であり、また汚過しにくい。ポリイミド流体の値段がガロンあたり15,000ドルを上回することは珍しくない。従って、ポリイミド流体を分配するために使用されるポンプ・システムが浪費無しに正確な量を分配することが重要である。

【0004】従来技術の流体分配システムは、通常は流体を正確に計測するために容積式ポンプを使用する。従来技術で使用される容積式ポンプの一つの種類はペローズポンプであり、その一例が米国特許第4,483,665号に開示されている。典型的ペローズポンプでは、ポンピングされるべき流体は1方向逆止弁を通して中空管状ペローズに入る。普通は、該ペローズの排出端部は動かないように拘束されているけれども、他方の端部は、該ペローズを縦方向に膨張及び収縮させるように選択的に働かせる往復運動機械部材に結合されている。収縮させられると、流体は該ペローズから加圧下に排出或いはポンピングされる。ペローズ・ポンプに伴う1つの問題は、ポンピング圧力が高いときに相当の内部圧力がペローズに作用し、それが膨張及び収縮の際の曲がりと共に、ペローズの疲労及び破裂をもたらす結果となることである。更に、ペローズは圧力下に曲がって精度の損失を生じさせる。この問題を克服するために、ペローズ内のプロセス流体の圧力と少なくとも部分的に釣り合うように流体がペローズを取り囲むチャンバに送り込まれる。ペローズに伴う他の問題は、ペローズのひだ或いは回旋(convolution)が空気或いは化学物質をペローズから完全に追い出すことを困難にすることである。ペローズ内に残っている空気は望ましくない気泡を生じさせる可能性がある。

【0005】ダイヤフラム型容積式ポンプは、ペローズ型のポンプに伴う問題の幾つかを克服する。ダイヤフラ

ム・ポンプは、ポンプ・チャンバを2つのセクションに分割するダイヤフラムを有する。作業流体がそのチャンバの一方のセクションに送り込まれたりそのセクションから送り出されたりしてダイヤフラムを前後に動かすことにより、そのチャンバの他方の半分にプロセス流体を引き込んだりプロセス流体をその半分から押し出したりする。該チャンバの中の作業流体の体積の変化が正確に分かるならば、該チャンバの中のプロセス流体の体積も正確に分かり、従って正確な計測に備えることができる。従って、ダイヤフラム・ポンプはしばしば圧縮できない作動油で動かされる。ダイヤフラム・ポンプの例が米国特許第4,950,134号、第5,167,837号、第5,490,765号、第5,516,429号、第5,527,161号、第5,762,795号、及び第5,772,899号に開示されている。

【0006】しかし、液圧で動かされるダイヤフラムが例えば穴が開いたりして故障すると、動作油がプロセス流体に押し込まれることがある。この汚濁は下流へ流れて、例えば他のシステムに入り込んだり、或いは例えばそのときに処理されている半導体基板に流れ着いたりして、生産ラインの下流側の他のシステムを汚染する。更に、これらのシステムを整備するときに、工具、手袋及びその他の器材の“クリーンルーム”環境を通して作動油が付いて該クリーンルームを汚染するかも知れない。動作油によって生じる可能性のある汚染を避けるために、ダイヤフラムを空気圧で動かすことができる。しかし、空気は圧縮性であるので、分配量を正確に制御することがいっそう難しくなる。

【0007】別の種類の周知の容積式ポンプは、ローリングメンブレンポンプである。ローリングメンブレンポンプはポンプ・チャンバ内の流体を排出する往復運動ピストンを含んでいる。ピストンとポンプ・チャンバの壁との間に移動シールを有するピストン型ポンプとは異なって、流体が該壁とピストンとの間から逃げるのを防ぐために可撓性のメンブレン(薄膜)がピストンと該チャンバの側壁とに取り付けられる。ピストンが動くとき、該メンブレンは該ポンプの側を転がって上がりたり下がりたりする。しかし、該メンブレンは高圧下で曲がり伸びる。半導体製造プロセスで分配されなければならないプロセス流体の多くは非常に粘りけがあり、非常に高い圧力でポンピングされなければならない。おそらく、この理由から、それは、特に半導体装置の製造プロセスにおいて少量の流体を正確に分配するために従来技術のシステムで使用されているとは思われない。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、従来技術に見られる問題の1つ以上を解決する改良された精密流体分配装置及び方法を提供する。特に、本発明は、プロセス流体をポンピングするための作動媒体として作動油を

使わないことによりプロセス流体及び製造環境を汚染する危険を減少させるとともに、他の種類の容積式ポンプに伴う問題を克服して流体を正確に分配できるようにする。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明の一実施の形態によると、ローリングメンブレンポンプを使用してプロセス流体を正確に計測する際の問題が克服される。伸びに起因するローリングメンブレンポンプのポンプ・チャンバの容積の変化が該ポンプ・チャンバ内の圧力の関数として容認できる程度に予測される。該チャンバ内のプロセス流体の圧力は排出行程の間監視され、プロセス流体の予め選択された量を送り届けるのに必要な排出行程の距離は、メンブレンの曲がり及び伸びを考慮して補正を行うために該行程の間に更新される。プロセス流体の汚染の危険は、プロセス流体をポンピングするためにダイヤフラムを動かせるのに動作油を用いなくて、代わりにメンブレンの固体機械的アクチュエータによることによって、相当減少する。更に、従来のベローズポンプとは異なって、ローリングメンブレンポンプは回旋(convolutions)を有しないので容易に一掃され掃除されることができる。

【0010】本発明の好ましい別の実施の形態によると、容易に切り離すことのできる電動モーターから動力を供給される機械的アクチュエータに結合されているローリングメンブレンポンプ・ヘッドの使用によって、高精度分配システムが補修し易くされる。従って、ポンプ・チャンバ、チャンバ・ボディー、ローリングメンブレン、ピストン等の排出機構、バルブ及び流体接続部から成る流体通路全体を、該機械的アクチュエータ及びコントローラを妨害することなく補修のためにクリーンルーム環境から容易に除去することができる。そこで、別の清潔なポンプヘッドを据え付けて、システムを非常に迅速に作動状態に戻すことができる。該ポンプヘッドは、容易に清潔にされて再び据え付けられることができる。ローリングメンブレンの内部形状は、それを迅速に洗浄できるようになっている。そこで、製造設備の損失の大きい停止時間を回避することができる。同様に、駆動機構からのポンプヘッドの分離は、該駆動機構を容易に補修したり、必要ならば交換したりすることを可能にする。プロセス流体通路は乱されないの、プロセス流体通路から空気を除去するために流体の損失やパージングは不要である。

【0011】本発明の他の利点は、非常に低い粘度(1~2センチポイズ程度)から非常に高い粘度(300ポイズ以上)までを有する広範なプロセス流体に使用され得ることである。そのようなプロセス流体の例は、溶剤、レジスト、スピン・オン・グラス(spin on glass (SOG))、ポリイミド、低誘電体、及び半導体装置製造プロセスに使用される他の多くの化学物質を包含するが、そ

れらに限定はされない。半導体装置処理分野によく適してはいるけれども、本発明は他の分野にも使用され得るものである。

【0012】好ましい実施の形態では、この方法は、特定の分配が一番目の分配でなければ予測されたメンブレン曲がりになくとも部分的に基づいて分配変更量を計算するステップを含んでおり、前記の予測されたメンブレン曲がりとは該一番目の分配中の最大ポンプチャンバ圧力になくとも部分的に基づいており、該方法は、更に、特定の分配が一番目の分配であるならば少なくとも部分的に該メンブレンの形状に基づいて分配変更量を計算し、その計算された量になくとも部分的に基づいて該ポンピング・システムのピストンを動かし、該ポンピング・システムの出口バルブを開き、該ポンプチャンバ圧力を監視して前記ポンプチャンバ圧力の突然の変化を検出して該ポンピング・システムにおける機械的故障を信号で知らせ、該ピストンの運動中の該ポンプチャンバの最大圧力を測定する各ステップを含んでいる。

【0013】以降は、添付図面と関連する本発明による実施の形態についての詳細な説明である。

【0014】

【発明の実施の形態】図1を参照すると、分配システム100は、電動モーター104から動力を供給されるローリングメンブレン容積式ポンプ102を含んでいる。該ポンプには圧力センサー111(図2b参照)が組み込まれている。ポンプ102のチャンバへの入口は入口バルブ112に結合され、ポンプのチャンバからの出口は出口バルブ114に結合されている。このポンプと2つのバルブとはポンプヘッド組立体116と称される。入口バルブは管路を通してプロセス流体の源に結合されており、それは該略図においてはバルク供給容器118として示されている。出口バルブは、該流体を必要とするプロセス機構に結合されている。

【0015】入口バルブ及び出口バルブは空気圧で動かされる。空気圧バルブ・コントローラ120は空気圧源122からの加圧空気を入口バルブ又は出口バルブに結合させることによって該バルブを動かし、該バルブは、常閉位置にバイアスされる。空気圧バルブ・コントローラ120は、コントローラ106からの信号にตอบสนองして、ソレノイド制御される空気圧バルブ124及び126を操作して、入口バルブ112及び出口バルブ114をそれぞれ開かせる。検出器128は、空気圧供給が入口バルブ及び出口バルブを適切に操作するのに不十分である状態を検知する。検出器130は、ポンプ102からのプロセス流体の漏れを検知する。

【0016】モーター104、空気圧バルブ・コントローラ120、圧力センサー111、検出器128、検出器130はコントローラ106と通信する。このコントローラ及び通信手段は如何なる特定の形にも限定されない。例えば、コントローラは、マイクロプロセッサに基

づくプログラミング可能なものであってよい。図示されている実施の形態では、コントローラは、プログラミング可能であってマイクロプロセッサに基づく主コントローラ108と、プログラミング可能なモーター・コントローラ110からなっている。主コントローラ108は、直接モーター制御を除いて、分配システムの全ての機能を制御する。それは、どれだけの量又は体積のプロセス流体を分配すべきか、そして分配を何時或いはどんな速度で行わなければならないかを示す情報でプロセス制御を提供するコンピュータ又はその他のコントローラに結合されている。主コントローラは、この情報をポンプ102についての対応する押しのけ量(移動量)及び速度値に変換して、この情報をモーター・コントローラ110に知らせる。モーター・コントローラは、後述するようにして、圧力センサー111の出力に基づいて、指定された距離及び速度で動くようにモーター104に指令し、ポンプ102内のピストン等の押しのけ(移動)機構に取り付けられているローリング・メンブレンの変形のための補正をする。

【0017】ここで図2a、2b及び2cを参照すると、ポンプ102及びモーター104の関連する詳細が略図示されており、ポンプは、その断面が示されている。ポンプのハウジングはベース202とカバー204とから成っている。該カバー内には固体のすなわち堅いピストン206が配置されている。可撓性のメンブレン208が該ピストンの面210に取り付けられている。このメンブレンは、その面から延在してポンプ・ハウジングの内壁に付着し、ポンプ・チャンバ212を規定している。好ましい実施の形態では、該メンブレン及びピストンはテフロン(商標)の単一の部材から形成されている。テフロンは、殆どの半導体装置製造プロセスに用いられる流体と反応しない。ピストンが図2aに示されている完全に引き込まれた位置にあるとき、メンブレンが形成されて、それ自身をハウジングの内壁に押しつけるように該ピストンに付着する。このことは、ピストンがポンプ・チャンバに出入りするときにメンブレンがピストンに転がり付いたりピストンから転がり離れる(roll onto or off)ことを保証する。図2bは、部分的に降下された位置にあるピストンを示しており、メンブレンはピストンの面210の周りの適切に形成されたロール214を有する。ポンプ・チャンバは入口開口部216を有し、これを通して、プロセス流体が入口バルブ112(図1)通過後に引かれ、該ポンプ・チャンバは更に出口開口部218を有し、これを通して、出口バルブ114(図1)が開いたときにプロセス流体が分配されるべく存在する。

【0018】ピストン206は解放可能な継手220によってモーター104に結合されており、これは、図2cに示されているように、ポンプヘッド又はモーターの補修のためにモーターをポンプヘッドから容易に分離す

ることを可能にする。モーターは、その据え付けが示されていないけれども、往復運動してピストンをポンピングするアウトプットを有する。解放可能な継手は、該モーターに付着するベース302と、取り外し可能な部材303とを含んでおり、その両方が図3に示されている。該継手はマンドレル222(図2a~2c参照)の頭部の周りにカラーのようにはまる。取り外し可能な部材が取り外されているとき、マンドレルの頭を該継手のベースに滑り込ませることができる。その二つの部材はネジ(図示されていない)により互いに結合される。強く信頼できる結合を行うために、マンドレルの頭部は、該継手の内面に形成された溝の中にはまり込む隆起が周囲にある。

【0019】モーターは、好ましくは回転出力を有するステッパモーターで構成される。モーターの運動の回転出力を線形往復運動に変換するために、線形アクチュエータ230が該ステッパモーターの出力をポンプに結合させる。継手であるファスナー220はネジ山部材232により線形アクチュエータ230の出力マンドレルに結合されている。しかし、他の方法で取り付けすることもできる。

【0020】ここで図4a、4b、4c及び4dを参照し、更に図1及び2a、2b及び2cを参照すると、分配サイクルはステップ402から始まり、このステップにおいて主コントローラ108(図1)はコマンドをモーター・コントローラ110(図1)に送ると共に、ポンプ内のピストン206(図2a)が変位する初期距離或いはベースライン距離を示す値と、それが変位される初期速度とをモーター・コントローラに与える。ピストンが動かされるこの距離は、分配されるべきプロセス流体の量の関数である。それは、ピストンが押し出す既知体積に基づいて、メンブレン208(図2)の変形を生じさせることのあるチャンバ内の圧力無しで該距離の関数として計算される。該速度は、分配が行われなければならない速度、或いは時間と、分配されるべき量との関数である。該分配コマンドは、例えば主コントローラが製造プロセス・コントローラ又はユーザーから要求を受け取ったことに応答して送られる。その要求は、プロセス流体の一定量と、随意に、特定の分配速度又は時間とを指定することができる。或いは、その量及び速度は主コントローラでプログラミングされてよい。分配を行うために利用できる十分な変位距離がある限りは、分配サイクルはピストンが特定の位置にあるときに始まらなくてもよい。しかし、分配システムが動力を供給されると、ピストンは図2aに示されているように完全に引き込まれた位置まで引き込まれる。

【0021】分配コマンドを受け取ると、モーター・コントローラは、ステップ404で、モーターにより、要求された速度でピストンを前進させる。主コントローラは、モーターが動いていることを検出すると、ステップ

406で出口バルブ114(図1)を開く。ステップ408で、モーター・コントローラは、ポンプ・チャンバ圧力センサー111(図1)を読むことによりエラー訂正ループを開始する。このループは、ポンプの押しのけ(移動)行程全体にわたって反復される。このループの間、ピストンの押しのけ距離は、メンブレン208(図2)の伸びを補正するためにしばしば更新される。好ましくは可撓性のテフロンから成るメンブレンは、特に高圧で、該チャンバの圧力が增大するときに膨張し或いは変形する傾向がある。その結果として、ポンプ運動の一定の変位の結果として該チャンバから出てゆく期待される流体は、実際にはポンプ・チャンバ212から出てゆかない。その代わりに、該流体の小部分が、広げられたダイヤフラムにより生じたスペースの中に押し込まれる。分配エラーは、ピストン進み距離と関連する要求された総分配体積と該チャンバの圧力との関数として程良く近似され得る。与えられたどの分配の際にもチャンバ圧力は、ポンプ分配速度と、分配される流体の粘度との関数である。しかし、好ましい実施の形態では、ポンプ・チャンバ212内の実際の圧力を測定するためにセンサー111(図1)が使用される。従って、両方の変数が知られているので、分配エラーを計算することができる。しかし、チャンバ圧力を監視する最も効率的な方法を決定し分配エラーの補正値を計算するために、分配を開始する前にその分配についての総期待時間を見積もることができる。

【0022】ステップ410において、分配エラーが計算される。好ましい実施の形態では、圧力センサー111により測定された該チャンバ内の圧力の関数として分配エラーがモデル化される。エラーを計算するために使用される式は、1つの好ましい実施の形態では、二次多項式 $AX^2 + BX + C$ であり、ここで $X$ は圧力であり、係数 $A$ 、 $B$ 及び $C$ は、ポンプにより実際に分配される量と期待量とを比較する試験から集められた実験データに適合するように該式を調整し、それを分配中の最大チャンバ圧力に相関させることによって決定される。この近似は、良好な結果を与えることが分かっており、現在の殆どの半導体装置製造アプリケーションのために十分な精度を与える。期待分配エラーが計算されると、出発位置及び更新された変位距離の関数である最終モーター位置についての更新された新しい値がステップ412で計算され、それはエラーを補正する。ステップ414において、ピストンの増大した変位についての調整が行われた後、総分配時間が、元来要求された速度又は時間と同じとなるように、ピストンについての新しい或いは更新された進み速度が計算される。モーター・コントローラは、この進み速度を達成するのに必要なモーター速度を決定し、適切な命令をステップ416で発する。

【0023】ポンプ・チャンバ内の圧力は、問題を示しているかも知れない突然の圧力低下があるか否か調べる

ためにステップ418で再びチェックされる。もしそのような低下があれば、警報が主コントローラに送られる。典型的な分配中、ポンプ・チャンバ内の圧力は、出口バルブ114(図1)が開くときの最初の低下を除いて、割合に滑らかに変化する。ポンプを駆動するモーター又は他のシステムの機械コンポーネントが働かなくなり始めたならば、分配中のチャンバ圧力もおそらく、通常よりは多い頻度で且つ通常よりは大きな振幅で変動する。従って、出口バルブが開かれるときの最初の低下の後のポンプ・チャンバ圧力の鋭いかも知れない低下を監視することによって、駆動システムの故障を、それがユーザーにとって重大な問題となる前に、検出することができる。

【0024】判定ステップ420でモーターがその最終位置に達していないか又は分配のための時間が経過していないか、このプロセスはループをなしてステップ408に戻る。分配されるべきプロセス流体の量により、分配中に該ループは数百回生じる。もしモーターがその最終位置に達しているか或いは分配時間が経過しているならば、ステップ422でモーターはモーター・コントローラにより停止させられる。

【0025】ステップ424及び426で示されているように、主コントローラは、モーター・コントローラ分配シーケンスの終わりを検出すると、ユーザー又はプロセスにより“吸い戻し”が要求されているか否かにより、ステップ428でモーターに吸い戻しシーケンスを開始させ、或いはステップ434にジャンプして出口バルブ114(図1)を閉じる。吸い戻しシーケンスとは、ポンプ102(図2)内のピストン206の移動を引き込み或いは逆転させて分配機出口の先端又はノズルの中の流体を、該流体の滴下又は乾燥を減少させるのに充分なだけ該先端又はノズルの中に後退させることを指している。ステップ430で、モーター・コントローラ110は、主コントローラ108から通知された速度及び距離の値に基づいてモーター104(図1)によりポンプのピストンを逆方向に移動させる。ユーザーは、それらの値をプロセス流体に応じて設定する。

【0026】主コントローラ108(図1)は、ステップ432で吸い戻しシーケンスの終わりを検出すると、434で出口バルブ114を閉じて最充填プロセスを始める。その再充填プロセス中に、プロセス流体が流体源容器(バルク供給容器)118からポンプ・チャンバ212(図2)の中に引き込まれる。プロセスの必要条件によっては、再充填プロセスは全ての分配の後に行われなくてもよい。ステップ436において、主コントローラは、入口バルブ111を開くと共に、ステップ438において再充填シーケンスを開始させる命令をモーター・コントローラに送る。再充填シーケンスは、ステップ440において、モーターを図2aに示されている再充填位置或いは完全に引っ込められた位置の方へ動かし始める。

それは、主コントローラ108から受け取られた初期速度でそうする。ステップ442で、監視ループが始まる。メンブレン208(図2)は可撓性であるので、大気圧とチャンバ内の圧力との差である高すぎる負のゲージ圧は該メンブレンをポンプ・チャンバの中心の方へ内方にしぼませる。その結果として、ポンプの修理を必要とするメンブレンの変形が生じる。従って、ステップ444で、負であるゲージ圧がチェックされる。ゲージ圧の大きさが低ければ、許容できる動作範囲についての所定最小値に基づいて、ステップ446においてポンプ102内でのピストン206(図2)の速度を高めることによって再充填速度を高めることができる。ステップ448で、負のゲージ圧の大きさが高すぎれば、許容できる動作範囲についての所定最大値に基づいて、ステップ450でメンブレンの潰れを避けるためにピストンの速度を低下させることにより再充填の速度を下げる必要がある。

【0027】ステップ452で、モーター・コントローラは圧力センサー111により測定されたポンプ・チャンバ内の圧力の変化を監視する。典型的な再充填の間は、チャンバ圧力は負のゲージ圧に割合に一定にとどまる。供給源のボトルが空になって空気が管路に引き込まれたならば、再充填中にチャンバ圧力が顕著に変化すると期待される唯一の時間がある。更に、連続する再充填中に、チャンバ内の負のゲージ圧は、より多くの空気が供給源で管路に引き込まれるときに、低下する傾向がある。従って、再充填又は連続する再充填の間、プロセス流体供給源容器が空になっているか否か判定するために、負のゲージ圧の低下、即ち絶対圧力の増大、を検出するためにチャンバ圧力が監視される。与えられた再充填シーケンスにおいてピストンが動く距離が単一の再充填内でゲージ圧低下を検出するのに充分な時間を与えないならば、連続する再充填を監視しなければならない。ステップ452でモーター・コントローラによって供給源が空である状態が検出されたならば、ステップ458でモーターを停止させることによって再充填が停止され、ステップ456で警報が主コントローラに送られるが、それはユーザーに注意を促す。この供給源空検出方法は、供給源の近くにおかれる在来の機械的泡センサーと比べて、そのようなセンサーとは異なって該方法が機械的調整をししばしば行わないという利点を有する。第2に、泡センサーは、動く部分を有するので、より頻繁に故障しがちである。その他の場合には、再充填プロセスは、モーターが図2aに示されているように完全に引き込まれた“ホーム”位置であってよい所定最終位置又はその他の所定位置に達するか、或いは時間経過が生じるまで、継続する。例えば、再充填が既知の分配プロセス間に行われるならば、再充填時間は分配サイクル間の時間に設定されてよい。或いは、分配要求が受け取られたときに再充填シーケンスを停止させることができる。



主コントローラは、ステップ460で再充填シーケンスの終了を検出すると、ステップ462で入口バルブ111(図1)を閉じる。

【0028】図5a、5b、及び5cは、図1の流体分配システムについての別の実施の形態の分配プロセスを示している。図5を参照し、更に図1及び2a、2b及び2cを参照すると、分配サイクルはステップ502で主コントローラ108(図1)がコマンドをモーター・コントローラ110に送ることから始まる。該コマンドが一番目の分配のためのものか否かがステップ504で判定される。そのコマンドが一番目の分配についてのものでなければ、ステップ503で、分配エラーが計算される。好ましい実施の形態では、一番目の分配中、圧力センサー111により測定されたチャンバ内の最大圧力の関数として分配エラーがモデル化される。エラーを計算するために使われる式は、1つの好ましい実施の形態では、二次多項式  $AX^2 + BX + C$  であり、ここでXは圧力であり、係数A、B及びCは、ポンプにより実際に分配される量を期待される量と比較する試験から収集された実験データに該式を適合させて、それを分配中の最大チャンバ圧力と相関させることにより決定される。この近似が良好な結果を与えるということが分かっており、現在の殆どの半導体装置製造アプリケーションについて十分な精度を与える。メンブレンは、主としてポンプ・チャンバ圧力の関数である予測可能な態様で曲がったり広がったりし、分配エラーは、予測されたメンブレン曲がりに基づいて分配を変更するべき量を与える。

【0029】ステップ506で、モーター・コントローラは、好ましくはダイヤフラムの形状と分配量との関数である初期分配補正量を計算する。初期分配補正量は経験的に、好ましくはメンブレンの機械的挙動についての知識に基づいて測定されることができる。エラーを計算するために使われる式は、1つの好ましい実施の形態では、二次多項式  $AX^2 + BX + C$  であり、ここでxは分配距離であり、係数A、B及びCは、ポンプにより実際に分配される量を期待される量と比較する試験から収集された実験データに該式を適合させて、それを分配距離と相関させることにより決定される。

【0030】ステップ507で、モーター・コントローラは次の要素、即ち速度、距離、分配補正量など、のうちの1つ以上に基いてモーターによりピストンを前進させる。速度は、好ましくは、分配が行われる速度又は時間と、分配されるべき量との関数である。分配コマンドは、主コントローラに応答して、例えば製造プロセスコントローラ又はユーザーからの要求を受け取ったことに応答して、送られることがある。その要求は、プロセス流体の一定量と、随意に特定の分配速度又は時間とを指定することができる。或いは、この量と速度とは主コントローラでプログラミングされてもよい。ピストンが動かされる距離は、好ましくは、分配されるべきプロセ

ス流体の量の関数である。それは、メンブレン208(図2)の変形を生じさせることのある圧力がチャンバ内に存在しないときの該距離の関数としてピストンが変位する既知の体積に基づいて計算される。分配を行うために十分な変位距離がある限りは、分配サイクルはピストンが特定の場所にあるときに始まる必要はない。しかし、分配システムに動力が供給されると、ピストンは図2aに示されているように、完全に引き込まれた位置まで引き込まれる。

【0031】モーターが動いていることを主コントローラが検出すると、それはステップ508で出口バルブ114を開く。ステップ510で、モーター・コントローラは、ポンプ・チャンバ圧力センサー111(図1)を読むことによってポンプ・チャンバ圧力を測定する。好ましい実施の形態では、分配中に測定される最大圧力が記憶される。図4のフローチャートに関して説明した方法とは異なって、ピストンの変位距離はメンブレン208(図2)の伸びを補正するために頻繁には更新されない。ステップ512で、ポンプ・チャンバ圧力の割合に急速な低下を測定するためにポンプ・チャンバ圧力が監視される。ポンプ・チャンバ圧力の急速な低下が検出された場合には、機械的故障の検出を示す信号が主コントローラに送られる。従って、ポンプ・チャンバ圧力の急速な低下を監視することによってポンプの機械的故障を検出することができる。従って、上で説明した方法では、実際の故障或いは将来起こり得る故障があることがオペレータに知らされ、オペレータは修理のための計画を立てることができる。

【0032】ステップ514で、ポンプ・チャンバ圧力が所定の限界より高いか否かが判定される。もしポンプ・チャンバ圧力が所定限界より高ければ、ステップ516で、高圧状態を意味する信号が生成され、モーターは停止される。もしポンプ・チャンバ圧力がその所定限界より高くなければ、ステップ518においてモーターが最終位置に達しているか否かが判定される。もしモーターが最終位置に達していなければ、ステップ510から始まるステップが反復される。もしモーターがその最終位置に達していれば、ステップ520でモーターはモーター・コントローラにより停止させられる。

【0033】ステップ522及び524で示されているように、主コントローラは、モーター・コントローラ分配シーケンスの終わりを検出すると、ユーザー又はプロセスにより“吸い戻し”が要求されているか否かにより、ステップ526でモーターに吸い戻しシーケンスを開始させ、或いはステップ544に跳んで出口バルブ114(図1)を閉じる。吸い戻しシーケンスとは、ポンプ102(図2)内のピストン206の移動を引き込むか或いは逆転させて分配機出口の先端又はノズルの中の流体を、該流体の滴下又は乾燥を減少させるのに充分なだけ該先端又はノズルの中に後退させることを指している。

ステップ530で、モーター・コントローラ110は、主コントローラ108から通知された速度及び距離の値に基づいて、モーター104(図1)によりポンプのピストンを逆方向に動かす。好ましい実施の形態では、ユーザーはこれらの値をプロセス流体に応じて設定する。

【0034】ステップ532で、モーター・コントローラはポンプ・チャンバ圧力センサー111(図2)を読むことによりポンプ・チャンバ圧力を測定する。ステップ534で、ポンプ・チャンバ圧力が所定限界より低いかなどが判定される。もしポンプ・チャンバ圧力が所定限界より低ければ、ステップ536で低圧状態を意味する信号が生成されてモーターが停止させられる。もしポンプ・チャンバ圧力が所定限界より低くはなければ、ステップ538でピストンが最終吸い戻し位置に達しているかなどが判定される。好ましい実施の形態では、圧力検出はピストンの運動中連続的に行われる。もしピストンが最終吸い戻し位置に達していなければ、ステップ532から始まるプロセスが反復される。もしピストンがその最終位置に達しているならば、ステップ540で好ましくはモーター・コントローラによりモーターが止められる。

【0035】主コントローラ108(図1)は、ステップ542で吸い戻しシーケンスの終わりを検出すると、544で出口バルブ114を閉じて再充填プロセスを開始する。再充填プロセス中、プロセス流体が流体源容器118からポンプ・チャンバ212(図2)の中に引き込まれる。再充填プロセスは、プロセスの必要条件に応じて、必ずしも全ての分配の後に行われなくてもよい。ステップ546で、主コントローラは、入口バルブ111を開き、ステップ548で再充填シーケンスを開始させる命令をモーター・コントローラに送る。

【0036】図5cはモーター制御再充填シーケンスについてのフローチャートである。ステップ550で、現在の充填は処方パラメータ(recipe parameters)が変更されて以来1回目の再充填であるかなどが判定される。好ましい実施の形態では、処方パラメータは、分配動作についての、分配されるべき量、分配速度、時間セッティング等の種々のパラメータを定義する。例えば、処方パラメータは、2秒間で3mLの分配量と、4秒間の再充填時間とを指定することができる。

【0037】ステップ552で、再充填について自動速度機能が要求されているかなどが判定される。その再充填について自動速度機能が要求されているならば、ステップ600で、自動速度再充填が実行される。ここで、図6のフローチャートを参照して自動速度再充填プロセスについて説明をする。もし自動速度再充填機能が要求されていないならば、処方パラメータ変更(ステップ560)後の1回目の再充填について一定速度再充填プロセスが実行される。

【0038】好ましい実施の形態では、現在の再充填が処方パラメータが変更された後の1回目の再充填でなけ

れば、ステップ554で、その再充填について自動速度機能が要求されているかなどが判定される。その再充填について自動速度機能が要求されているならば、ステップ556で、現在の再充填が処方パラメータが変更された後の2回目の再充填であるかなどが判定される。もし現在の再充填が処方パラメータ変更後の2回目の再充填であるならば、ステップ558で、モーターの速度が前の自動速度再充填で測定された最大速度の関数として設定される。その後、処方パラメータ変更後の1回目の再充填について一定速度再充填(ステップ560)が実行される。

【0039】ステップ562で、モーター・コントローラはモーターを再充填位置の方へ動かす。ステップ564で、モーター・コントローラは、ポンプ・チャンバ圧力センサー111(図1)を読むことによりポンプ・チャンバ圧力を測定する。好ましい実施の形態では、ステップ566で、現在読まれているポンプ・チャンバ圧力が再充填中に現れた前の記録されている圧力より高いかなどが判定される。もしそうならば、好ましい実施の形態では、現在の圧力の値が、後述するように後の分配において使用されるべきソフトウェア供給源空検出(Software Source Empty Detection(SSED))のためのベンチマーク値として記録される。ステップ568で、ポンプ・チャンバ圧力が所定限界値より低いかなどが判定される。もしポンプ・チャンバ圧力が所定限界値より低ければ、ステップ570で、低圧状態を意味する信号が生成され、モーターが止められる。もしポンプ・チャンバ圧力がその所定限界値より低くなければ、ステップ572で、ピストンが最終再充填位置に達しているかなどが判定される。もしピストンが最終再充填位置に達していなければ、ステップ564から始まるプロセスが反復される。もしピストンが最終再充填位置に達していれば、ステップ574でモーターが好ましくはモーター・コントローラにより止められる。モーターが止められると、好ましい実施の形態では、本明細書で図7を参照して説明するポンプ・チャンバ前充填プロセス700が実行される。

【0040】もし現在の再充填が処方パラメータ変更後の1回目の再充填ではなくて該再充填について自動速度機能が要求されていないならば、或いはもし現在の再充填が処方パラメータ変更後の2回目の再充填でないならば、処方パラメータ変更後の1回目の再充填以外の再充填のために一定速度再充填(ステップ576)が実行される。ステップ578で、モーター・コントローラはモーターを再充填位置の方へ動かす。ステップ580で、モーター・コントローラは、ポンプ・チャンバ圧力センサー111(図1)を読むことによりポンプ・チャンバ圧力を測定する。好ましい実施の形態では、ステップ582で、現在読まれているポンプ・チャンバ圧力がSSEDベンチマーク値と、誤警報を防ぐためのオフセットとの

和より大きいかが判定される。SSEDベンチマークは、一定速度再充填において再充填速度が一定であるので再充填圧力が一定であることによる。もし供給源のボトルが再充填中に空になると、圧力は空気/ガスが該チャンバに引き込まれるのに連れて高まる。もし現在読まれているポンプ・チャンバ圧力がSSEDベンチマーク値と該オフセットとの和より大きければ、好ましい実施の形態では、ステップ584で、供給源空警報信号が生成され、モーターが止められる。ポンプ・チャンバ圧力をSSEDベンチマーク値と比較することにより、供給源を監視して該流体源が空になっているか否か、そして何時空になったかを判定することができる。従って、本発明の好ましい実施の形態では、供給源が空になった時点判定のために校正に頼る必要はなくなる。

【0041】ステップ586で、ポンプ・チャンバ圧力が所定限界値より低いかが判定される。もしポンプ・チャンバ圧力が所定限界値より低ければ、低圧力状態を意味する信号が生成され、モーターが止められる。もしポンプ・チャンバ圧力がその所定限界値より低くなければ、ステップ590で、ピストンが最終再充填位置に達しているか否かが判定される。もしピストンが最終再充填位置に達していなければ、ステップ580から始まるプロセスが反復される。もしピストンが該最終再充填位置に達していれば、ステップ592でモーターが好ましくはモーター・コントローラにより止められる。好ましい実施の形態では、モーターが停止すると、図7を参照して本明細書で説明するポンプ・チャンバ前充填プロセス700が実行される。

【0042】図6は、図1の流体分配システムのための好ましい実施の形態である自動速度再充填プロセスを表すフローチャート600である。もし現在の再充填が処方パラメータ変更後の1回目の再充填であって自動速度機能が該再充填について要求されているならば、図6の自動速度再充填プロセスが実行される。自動速度再充填シーケンスは、ステップ602で、モーターを図2aに示されている再充填された或いは完全に引き込まれた位置へ動かし始める。それは、好ましくは主コントローラ108から受け取られた非常に低い初期速度で行われる。ステップ604で、ポンプ・チャンバ圧力が測定される。該圧力がステップ606で決定される最小所定スレシールド値に達するまで、再充填速度が高められる(ステップ608)。例えばピストン206の速度を高めることによって、再充填速度を高めることができる。該圧力が最小所定スレシールド値に達すると、許容できる動作範囲についての最小値に基づいて該圧力が低すぎるか否かがステップ610で判定される。もし該圧力が低すぎれば、メンブレンの潰れを避けるために好ましくはピストンの速度を低下させることによって再充填速度がステップ612で下げられる。ステップ614で、達成された最大速度が記録される。その記録された最大速度

は、後の分配で使用されることができる。

【0043】ステップ616で、モーターが最終位置に達しているか否かが判定される。もしモーターが最終位置に達していなければ、ステップ604から始まるプロセスが反復される。もしモーターがその最終位置に達していれば、ステップ618でモーターはモーター・コントローラによって停止させられる。ステップ620で、主コントローラは再充填シーケンスの終わりを検出し、ステップ622で主コントローラは入口バルブ111を閉じる。

【0044】図7は図1の流体分配システムのための好ましい実施の形態であるポンプ・チャンバ前充填プロセスを表すフローチャート700である。ステップ702で、好ましくは主コントローラによって全てのバルブが閉じられるのでポンプは封印(密閉)される。ステップ704で、モーター・コントローラは、ポンプ・チャンバ圧力センサー111(図1)を読むことによってポンプ・チャンバ圧力を測定する。ステップ706で、ポンプ・チャンバ圧力が所定前充填圧力より大きいかが判定される。好ましい実施の形態では、その所定前充填圧力は5psigである。もし該圧力がその所定前充填圧力より大きければ、ステップ708で、該ポンプ・チャンバ圧力が所望の前充填圧力より所定量だけ低くなるまでポンプ・ピストンが後退させられる。好ましい実施の形態では、その所定量は3psigであり、所望の前充填圧力は5psigである。ステップ712で、ポンプ・チャンバ圧力が所望の前充填圧力になるまで前進させられる。

【0045】好ましい実施の形態では、図7のプロセスは、ポンプ・ピストンを動かす全ての動作の終了時に実行される。図1の流体分配システムで使用されるメンブレンの性質の故に、分配前にポンプ・チャンバの圧力を制御することは困難である。それは、メンブレンがその実用寿命の間にうねったり、曲がったり、縮んだり永久的に伸びたりしがちだからである。図7の好ましい実施の形態のポンプ・チャンバ前充填プロセスは、メンブレンのこれらの特性の1つ以上を補償する。

【0046】また、各分配の前に、メンブレンを適切にうねらせて次の分配に備えることが望ましい。図7のポンプ・チャンバ前充填プロセスの利点は、各分配が所望の前充填圧力から始まることである。その結果として、該プロセスの一貫性及び反復可能性をメンブレンの実用寿命の間維持することができる。

【0047】図8は、図1の分配システムにおいて流体をチャンバに引き込むための好ましい実施の形態の自動速度機能を表すフローチャート800である。ステップ802で、モーター・コントローラはポンプ・チャンバ容積を増大させるためにモーターによりピストンを動かす。ポンプ・チャンバ容積の増加の結果として、ポンプ・チャンバ圧力が低下して流体が引き込まれる。好まし

い実施の形態では、ステップ803で、ポンプの入口バルブが好ましくは主コントローラによって開かれる。ステップ804で、モーター・コントローラは、ポンプ・チャンバ圧力センサー111(図1)を読むことによってポンプ・チャンバ圧力を測定する。該圧力がステップ806で決定される所定最小限界値に達するまで、モーター速度が高められる(ステップ808)。好ましい実施の形態では、所定最小限界値は $-8\text{ psi g}$ である。該圧力が所定最小限界値に達すると、該圧力が許容できる動作範囲についての最小値より低いかがステップ810で判定される。好ましい実施の形態では、許容できる動作範囲についての最小値は $-10\text{ psi g}$ である。もし現在の圧力が許容できる動作範囲についての最小値より低ければ、モーター速度が減少させられる。ステップ814で、ピストンが要求された距離だけ移動したかが判定される。もしピストンが要求された距離だけ移動していなければ、ステップ804から始まるプロセスが反復される。もしピストンが要求された距離だけ移動していれば、ステップ815でモーター・コントローラはモーターを停止させる。ステップ816で、主コントローラは入口バルブを閉じる。

【0048】図9は、図1の分配システムにおいてチャンバから流体を押し出すための好ましい実施の形態の自動速度機能を表すフローチャート900である。ステップ902で、モーター・コントローラは、ポンプ・チャンバの容積を減少させるためにモーターによりピストンを動かす。ポンプ・チャンバ容積の減少は、ポンプ・チャンバ圧力が増大して流体が押し出されるという結果をもたらす。好ましい実施の形態では、ステップ903で、ポンプの出口バルブが好ましくは主コントローラによって開かれる。ステップ904で、モーター・コントローラは、ポンプ・チャンバ圧力センサー111(図1)を読むことによってポンプ・チャンバ圧力を測定する。該圧力がステップ906で判定されるように所定最大限界値に達するまで、モーター速度が高められる(ステップ908)。好ましい実施の形態では、その所定最大限界値は $85\text{ psi g}$ である。該圧力がその所定最大限界値に達すると、ステップ910で、該圧力が許容できる動作範囲についての最大値より高いかが判定される。好ましい実施の形態では、許容できる動作範囲についての最大値は $100\text{ psi g}$ である。もし該圧力が許容できる動作範囲についての最大値より高ければ、モーター速度が低められる。ステップ914で、ピストンが要求された距離だけ移動したかが判定される。もしピストンが要求された距離だけ移動していなければ、ステップ904から始まるプロセスが反復される。もしピストンが要求された距離だけ移動していれば、ステップ915でモーター・コントローラはモーターを停止させる。ステップ916で、主コントローラは出口バルブを閉じる。

【0049】図8のフローチャートは、ポンプ・ピストンが後退させられて流体を該チャンバの中に引き込むときに好ましく使用される。図9のフローチャートは、ポンプ・ピストンが前進して流体を該チャンバから押し出すときに好ましく使用される。該チャンバ内の圧力は、例えばピストンの速度、流体の粘度、ポンプへの配管取り付けなどの、いろいろな要素による。図8及び9の自動速度プロセスの1つの利点は、流体が該チャンバから押し出されているのか、それとも該チャンバの中に引き込まれているのかにより、ポンプ・チャンバ圧力が最大許容値又は最小許容値に近くなるようにピストンの速度が自動的に調整され得ることである。ポンプ・チャンバ内の圧力が自動的に調整されるので、図8及び9のプロセスのもう一つの利点は、ポンプのプライミングの際にポンプのオペレータが該流体の粘度に基づいて或いはポンプがどのように配管されているかに基づいて圧力を監視する必要が無いということである。更に、プライミング操作は在来の手によるセットアップ操作より遙かに高速であり、在来の手によるセットアップ操作は、一般に、ポンプをセットアップする試行錯誤方法をオペレータが採用することを必要とし、それは流体の粘度とポンプの配管とに基づく実験を必要とする。

【0050】本明細書で説明したポンプ・チャンバからの閉ループ圧力フィードバックは数個の利点を与える。例えば、分配補正、圧力限界値検出、流体をポンプの中へ、ポンプから外へ、或いはポンプを通して流体を移動させるための自動速度機能、供給源空検出、機械的故障検出などである。

【0051】以上、本発明のいろいろな実施の形態を主コントローラ及びモーター・コントローラとの関連で説明したけれども、本発明はそのようなには限定されなくて、別の実施の形態ではいろいろな機能を実行するために単一のコントローラを使用することができる。

【0052】更に、上で説明した本発明のいろいろな実施の形態では、圧力センサーはポンプに組み込まれているけれども、本発明はそのようなには限定されない。別の実施の形態では、圧力センサーは、例えば、ポンプ・チャンバで発生した圧力信号の伝送を可能にする形状及びサイズを有するオリフィスを通してポンプ・チャンバに油圧的に連結されてよい。更に他の実施の形態では、圧力センサーがポンプ・チャンバ内の圧力を感知できるように圧力センサーはポンプの近傍に配置されてもよい。

【0053】以上の説明は本発明の1つの模範的实施の形態に関してなされている。しかし、本発明の範囲から逸脱せずにその実施の形態を修正し或いは変更することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 流体分配システムの略図である。

【図2a】 図1の分配システムで使用される一部断面で示されている略図示されているモーター及びポンプで

ある。

【図2b】 図1の分配システムで使用する、一部断面で示されている、略図示されているモーター及びポンプである。

【図2c】 図1の分配システムで使用される、一部断面で示されている、略図示されているモーター及びポンプである。

【図3】 図2 a、2 b及び2 cに示されているモーター及びポンプを結合させるための継手の斜視図である。

【図4 a】 図1の流体分配システムのための好ましい実施の形態の分配プロセスを表すフローチャートである。

【図4 b】 図1の流体分配システムのための好ましい実施の形態の分配プロセスを表すフローチャートである。

【図4c】: 図1の流体分配システムのための好ましい実施の形態の分配プロセスを表すフローチャートである。

【図4 d】 図1の流体分配システムのための好ましい実施の形態の分配プロセスを表すフローチャートであ

る、

【図5 a】 図1の流体分配システムのための別の実施の形態の分配プロセスを表すフローチャートである。

【図5b】 図1の流体分配システムのための別の実施の形態の分配プロセスを表すフローチャートである。

【図5c】 図1の流体分配システムのための別の実施の形態の分配プロセスを表すフローチャートである。

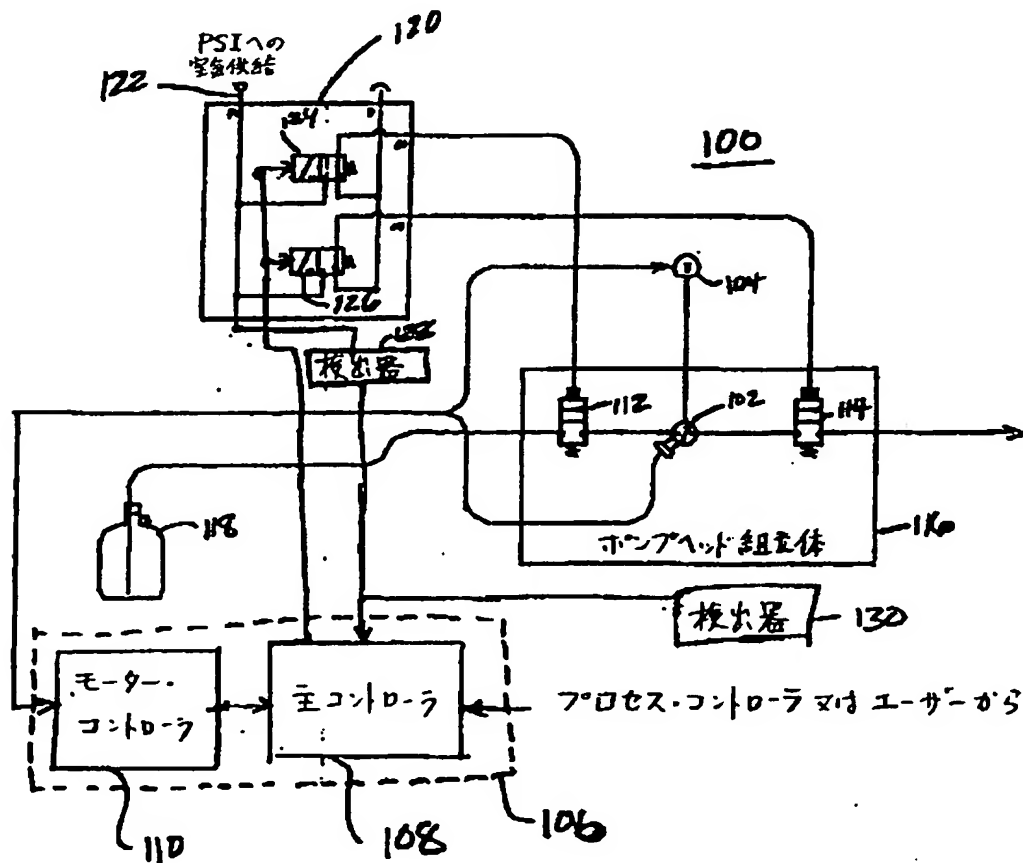
【図6】 図1の流体分配システムのための好ましい実施の形態自動速度再装填プロセスを表すフローチャートである。

【図7】 図1の流体分配システムのための好ましい実施の形態のポンプ・チャンバ前装填プロセスを表すフローチャートである。

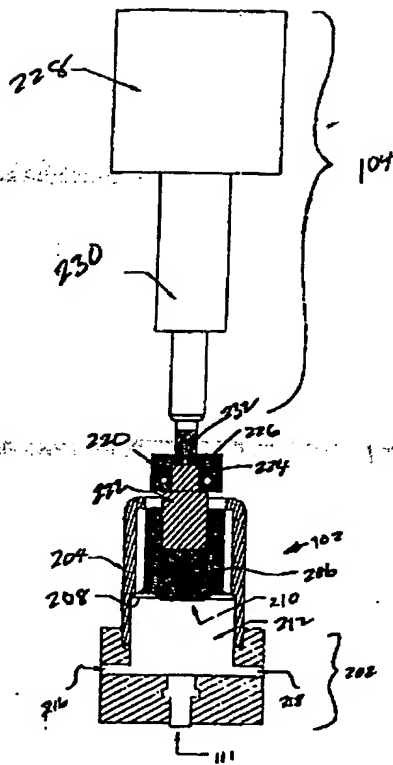
【図8】 図1の分配システムのチャンバに流体を引き込むための好ましい実施の形態の自動速度機能を表すフローチャートである。

【図9】 図1の分配システムのチャンバから流体を押し出すための好ましい実施の形態の自動速度機能を表すフローチャートである。

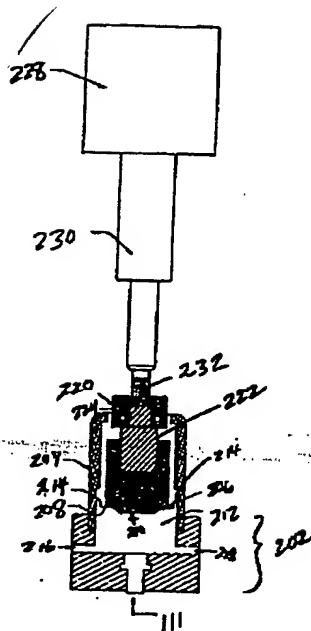
【図 1】



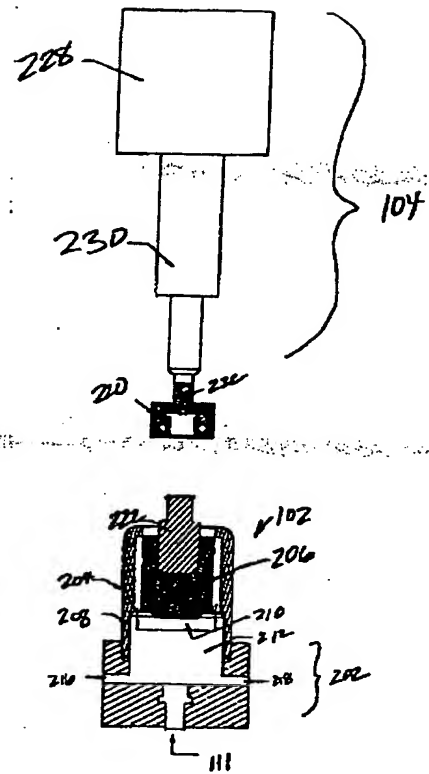
【図2a】



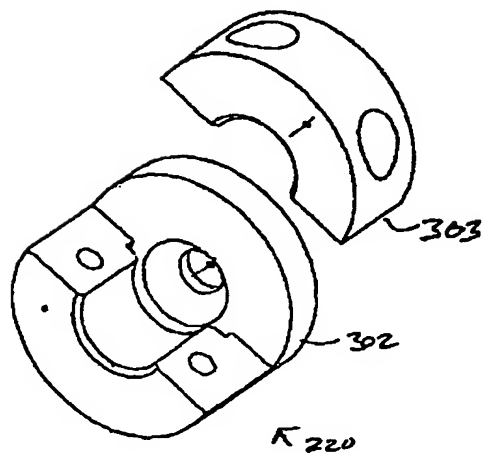
【図2b】



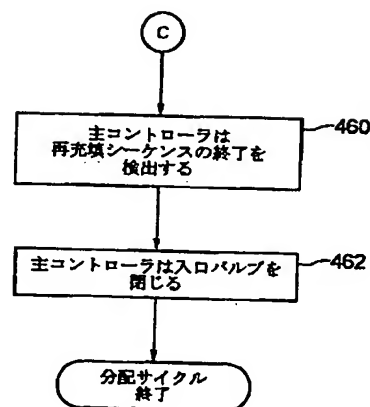
【図2c】



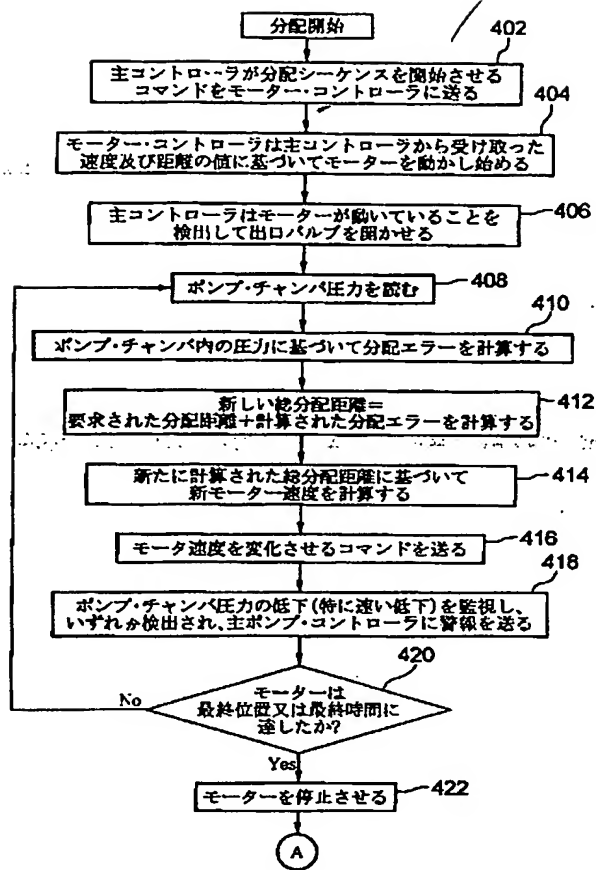
【図3】



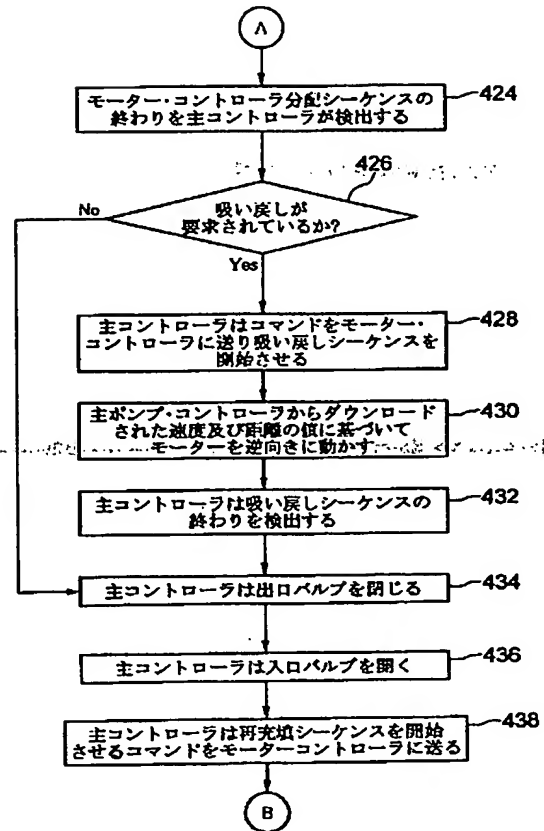
【図4d】



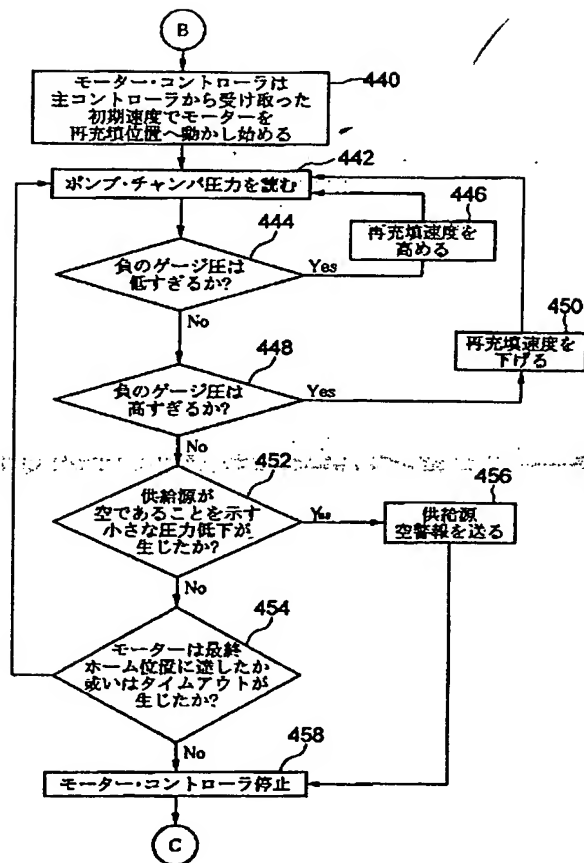
【図4 a】



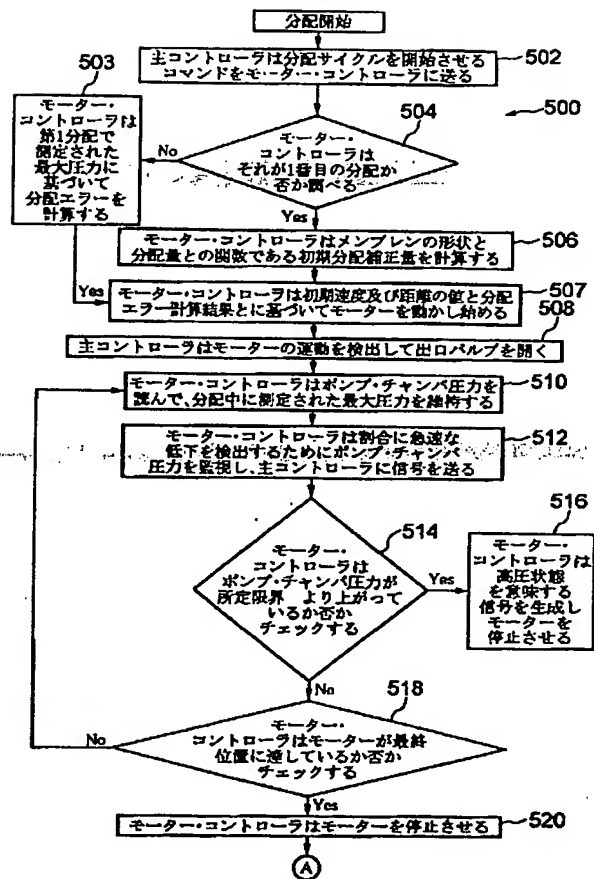
【図4 b】



【図4c】

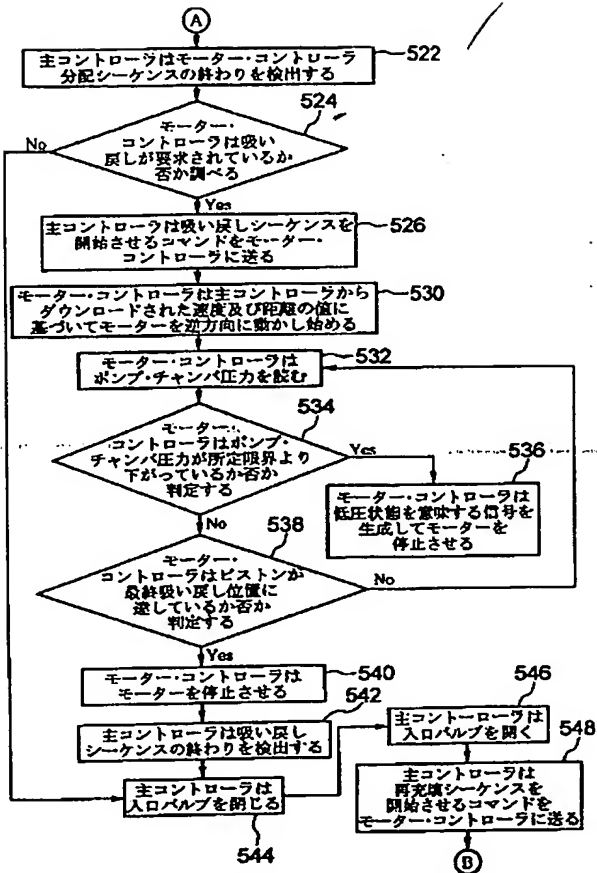


【図5a】

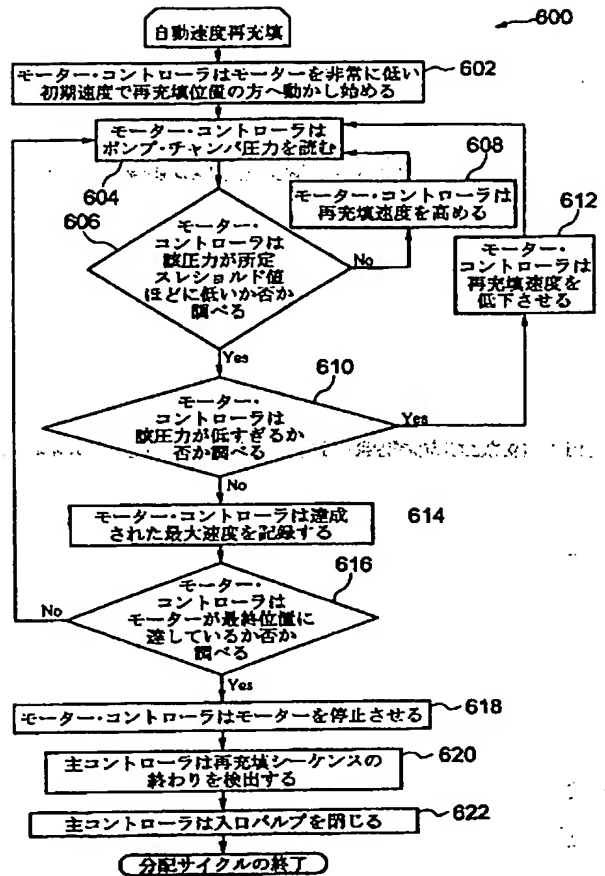




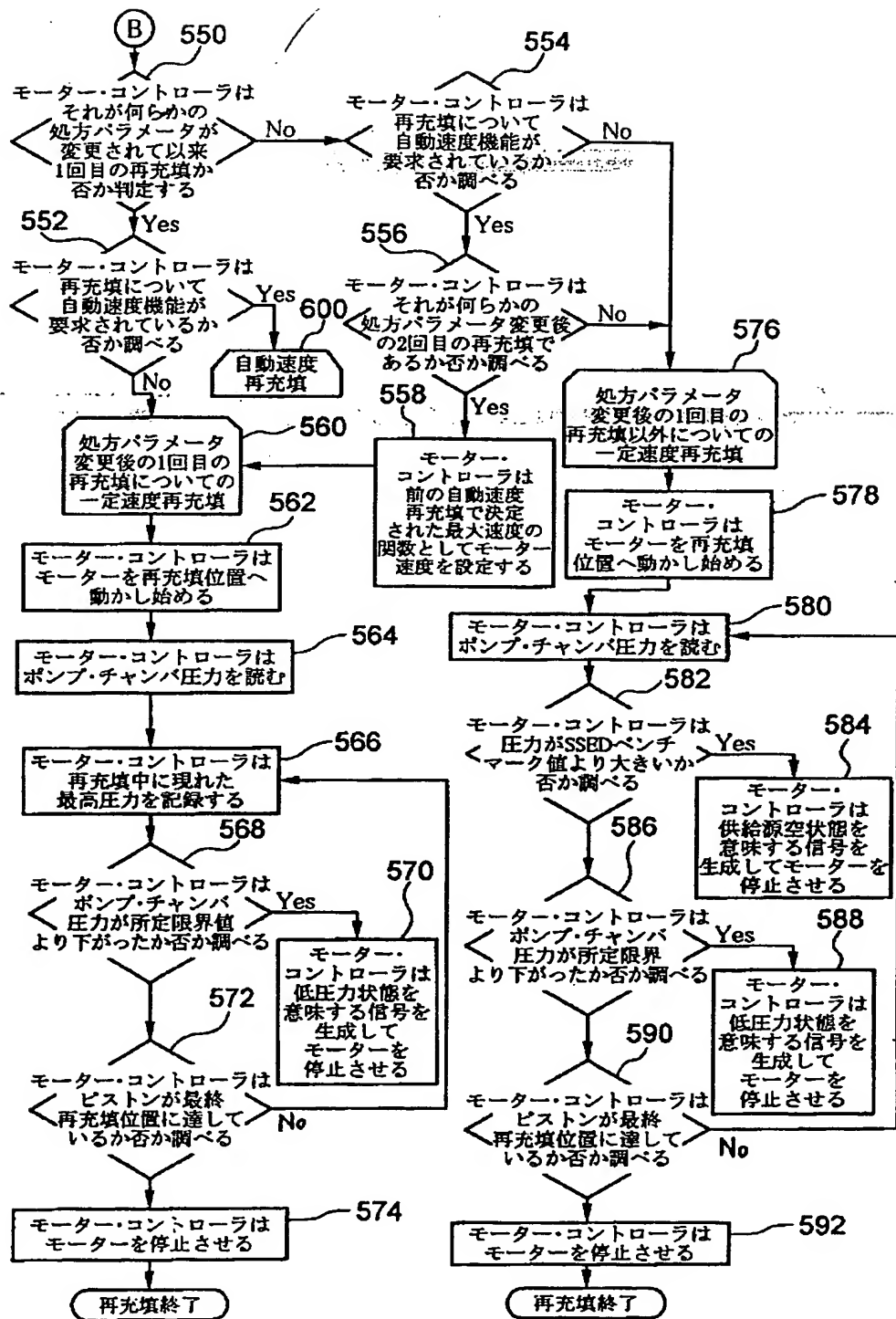
【図5b】



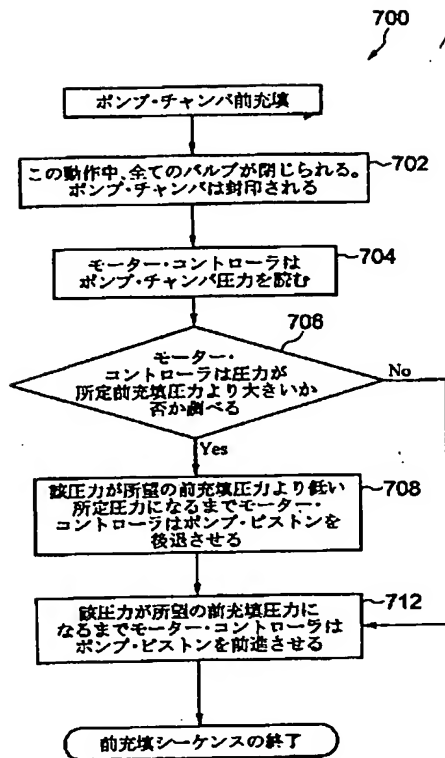
【図6】



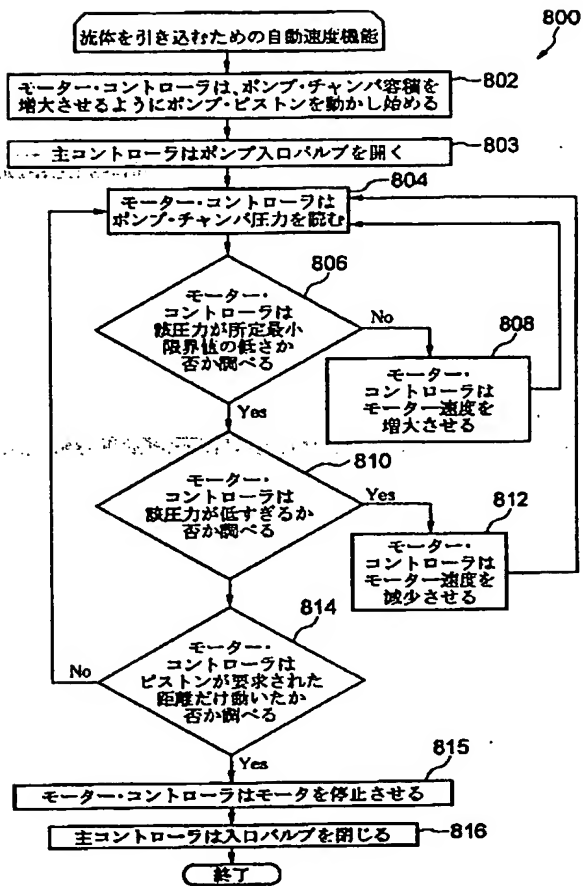
【図5c】



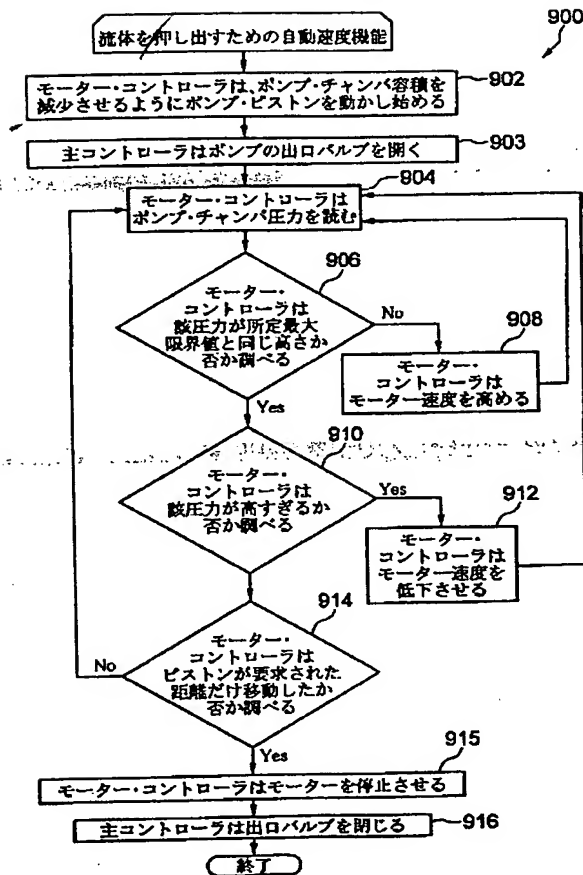
【図7】



【図8】



【図9】



フロントページの続き

(72)発明者 ジョン・シー・ヴァインズ  
 アメリカ合衆国、テキサス州、ダラス、ロ  
 ーズミード・パークウェイ 3750、ナンバ  
 ー 4233

【外国語明細書】

1 Title of Invention

**METHOD FOR DISPENSING FLUIDS**

2 Claims

1. A method for dispensing a precise amount of a fluid utilizing a rolling membrane pumping system, said method comprising:

calculating an amount by which to change a dispense based at least in part on a predicted membrane flex if a particular dispense is other than a first dispense, wherein said predicted membrane flex is based at least in part on a maximum pump chamber pressure during said first dispense;

calculating an amount by which to change a dispense based at least in part on a shape of said membrane if a particular dispense is a first dispense;

moving a piston in said pumping system based at least in part on said calculated amount;

opening an output valve of said pumping system;

monitoring said pump chamber pressure to detect a sudden decrease in said pump chamber pressure to signal a mechanical failure in said pumping system; and

determining a maximum pressure in said pump chamber during said movement of said piston.

2. The method of claim 1, wherein said opening an output valve step is performed by a main controller of said pumping system.

3. The method of claim 1, wherein said maximum pressure in said pump chamber is determined by periodically reading a pump chamber pressure sensor and storing the maximum value of the pressure read from said pump chamber pressure sensor.

3 Detailed Description of Invention

**FIELD OF THE INVENTION**

The present invention relates to an apparatus and methods for dispensing liquids in accurate quantities, in particular fluids with high viscosity and fluids used in fabrication processes, such as semiconductor device fabrication processes, in which process fluid waste and contamination are of particular concern.

**BACKGROUND OF THE INVENTION**

Many processes require accurate control over the amount and/or rate at which a fluid is dispensed by pumping apparatus. Both the rate and amount of processing fluid applied to, for example, a semiconductor wafer during fabrication of integrated circuits are very accurately controlled to ensure that the processing liquid is applied uniformly, and to avoid waste and unnecessary consumption. Many of the chemicals used in the semiconductor industry are toxic and very expensive. Accurate dispensing thus avoids toxic waste handling and reduces cost of fabrication. Contamination of process fluid in the form of air bubbles or particles or other external contamination must also be carefully controlled in many processes. Contamination in semiconductor device fabrication processes, for example, lowers yields and results in lost process fluid and production time.

For example, the manufacture of multi-chip modules (MCM), high-density interconnect (HDI) components and other semiconductor materials requires the application of a thin layer of polyimide material as an inner layer dielectric. The polyimide material must be applied with exacting precision because the required thicknesses of the polyimide film may be as small as 100 microns and the final thickness of the polyimide film must be uniform and not normally vary more than 2% across the substrate or wafer. In addition to the unique mechanical and electrical properties that make polyimides ideally suited for use in the manufacture of semiconductors, polyimides also have physical properties that make it difficult to pump or supply the polyimides in exacting amounts. Specifically, polyimides are viscous. Many polyimides used in the manufacture of semiconductors have viscosities in excess of 400 poise. Fluids with viscosities this high are difficult to pump and difficult to filter. It is not uncommon for polyimide fluids to cost in excess of \$15,000 per gallon. Therefore, it is important that pump systems used to dispense the polyimide fluids dispense the exact amounts, without waste.

Fluid dispense systems in the prior art normally use positive displacement pumps to provide accurate metering of fluid. One type of positive displacement pump sometimes used in prior art is a bellows-type pump, an example of which is disclosed in US Pat. No. 4,483,665. In a typical bellows pump, fluid to be pumped enters a hollow tubular bellows through a one-way check valve. Usually, the discharge end of

the bellows is constrained from movement, while the other end is connected to a reciprocating mechanical member that selectively works the bellows for longitudinal expansion and contraction. When contracted, fluid is expelled or pumped from the bellows under pressure. One problem with a bellows pump is that, at high pumping pressures, considerable internal pressure is exerted on the bellows which, together with flexing during expansion and contraction, can result in fatigue and rupture of the bellows. Furthermore, the bellows will flex under pressure, causing a loss in the accuracy. To overcome this problem, fluid is pumped into a chamber surrounding the bellows to balance at least partially the pressure of the process fluid within the bellows. Another problem with bellows is that the pleats or convolutions in the bellows make it difficult to purge completely air or chemicals from the bellows. Air remaining in the bellows can create undesirable air bubbles.

A diaphragm-type positive displacement pump overcomes some of the problems associated with a bellows type of pump. A diaphragm pump has a diaphragm that divides a pumping chamber into two sections. A working fluid is pumped into and out of one section of the chamber to cause the diaphragm to move back and forth, thereby forcing process fluid to be drawn into and pushed out of the other half of the chamber. If the change in the volume of the working fluid within the chamber is accurately known, the volume of the process fluid within the chamber can also be known accurately, thus allowing for accurate metering. Diaphragm pumps are therefore often actuated by incompressible hydraulic fluid to achieve very accurate control over movement of the diaphragm. Examples of diaphragm pumps are disclosed in U.S. Pat. Nos. 4,950,134, 5,167,837, 5,490,765, 5,516,429, 5,527,161, 5,762,795, and 5,772,899.

However, should a hydraulically actuated diaphragm fail, such as by developing a hole, hydraulic fluid may be forced into process fluid. This contamination then flows downstream, for example into other systems or onto, for example, semiconductor substrates that are then, in turn, processed, thus contaminating other systems down the production line. Furthermore, when servicing these systems hydraulic fluid may be tracked through a "clean room" environment on tools, gloves and other equipment, potentially contaminating the clean room. To avoid possible contamination by hydraulic fluid, the diaphragm could be pneumatically

actuated. However, the compressibility of air makes accurate control of the dispense volume more difficult.

Another type of well known positive displacement pump is a rolling membrane pump. A rolling membrane pump includes a reciprocating piston that displaces fluid within a pumping chamber. Unlike piston-type pumps that have a moving seal between the piston and the pumping chamber walls, a flexible membrane is attached to the piston and to the side walls of the chamber to prevent fluid from escaping between the walls and the piston. As the piston moves, the membrane rolls up and down the side of the pump. However, the membrane flexes stretches under high pressures. Many of the process fluids that must be dispensed in semiconductor fabrication processes are highly viscous, and must be pumped at very high pressures. Presumably, for this reason it does not appear to have been used in prior art systems for accurately dispensing small quantities of liquid, particularly those in fabrication processes of semiconductor devices.



**SUMMARY OF THE INVENTION**

The invention provides for an improved precision fluid dispensing apparatus and method that solves on or more of the problems found in the prior art. More particularly, the invention avoids use of hydraulic fluid as a working medium to pump process fluids, thereby reducing risk of contamination to the process fluid and production environment, and overcomes problems associated with other types of positive displacement pumps to provide for accurate fluid dispensing.

According to one aspect of an exemplary embodiment of the invention, the problems with using a rolling membrane pump to meter accurately process fluid are overcome. The change in volume in a pumping chamber of the rolling membrane pump due to stretching is predicted to an acceptable degree as a function of pressure within the pumping chamber. The pressure of the process fluid within the chamber is monitored throughout a displacement stroke, and the distance of the displacement stroke necessary to deliver a preselected quantity of process fluid updated throughout the stroke to take into account and correct for the flexing and stretching of the membrane. The risk of contamination of process fluid is substantially reduced by not using hydraulic fluid to work a diaphragm for pumping process fluids, relying instead on a solid mechanical actuator of a membrane. Furthermore, unlike prior art bellows pumps, a rolling membrane pump has no convolutions and thus can be easily purged and cleaned.

According to another aspect of a preferred embodiment of the invention, a high precision dispensing system is made easier to maintain by use of a rolling membrane pump head that is coupled to a mechanical actuator powered by an electric motor that may be easily disconnected. Thus, the entire fluid path, consisting of the pumping chamber, chamber body, rolling membrane, a displacing mechanism, such as a piston, valves and fluid connections may be easily removed from a clean room environment for servicing without disturbing the mechanical actuator and controller. A second, clean pump head may thus be installed allowing the system to be returned to operation very quickly. The pump head may also be easily cleaned and reinstalled. The internal shape of the rolling membrane allows for it to be flushed rapidly. Thus, costly down time in a production facility can be avoided. Similarly, separation of the pump head from the drive mechanism allows the drive mechanism to be easily

serviced and replaced, if necessary. Since the process fluid path would not be disturbed, there would be no fluid loss or purging required to remove air from the process fluid flow path.

Another advantage to the invention is that it is capable of being used with a wide range of process fluids, having very low viscosity (on the order of 1 to 2 centipoise) to very high viscosity (over 300 poise). Examples of such process fluids include, but are not limited to, solvents, resists, spin on glass (SOG), polyimides, low dielectric and many other chemistries used in semiconductor device fabrication processes. Although well suited for semiconductor device processing applications, the invention may be used in other applications.

In the preferred embodiment, the method comprises calculating an amount by which to change a dispense based at least in part on a predicted membrane flex if a particular dispense is other than a first dispense, wherein said predicted membrane flex is based at least in part on a maximum pump chamber pressure during the first dispense; calculating an amount by which to change a dispense based at least in part on a shape of the membrane if a particular dispense is a first dispense; moving a piston in the pumping system based at least in part on the calculated amount; opening an output valve of the pumping system; monitoring the pump chamber pressure to detect a sudden decrease in said pump chamber pressure to signal a mechanical failure in the pumping system; and determining a maximum pressure in the pump chamber during the movement of the piston.

Following is a detailed description of an exemplary embodiment of the invention, made in reference to the appended drawings.

**DETAILED DESCRIPTION OF THE DRAWINGS**

Referring to Fig. 1, dispense system 100 includes a rolling membrane, positive displacement pump 102 powered by an electric motor 104. Incorporated into the pump is a pressure sensor 111. An inlet to the chamber of pump 102 is connected to an inlet valve 112, and an outlet of the chamber of the pump is connected to outlet valve 114. The pump and two valves will be referred to as a pump head assembly 116. The inlet valve is coupled through a line to source of process fluids, which is indicated in the schematic as a bulk supply container 118. The outlet valve is coupled to process machinery requiring the fluid.

The inlet and outlet valves are pneumatically actuated. Pneumatic valve controller 120 actuates the valves, which are biased to a normally closed position, by connecting pressured air from pneumatic source 122 to the inlet or outlet valve. The pneumatic valve controller 120, in response to signals from controller 106, operates solenoid-controlled pneumatic valves 124 and 126 to open, respectively, inlet valve 112 and outlet valve 114. Detector 128 senses when the pneumatic supply has insufficient pressure to operate properly the inlet and outlet valves. Detector 130 senses process fluid leaking from the pump 102.

Motor, 104, pneumatic valve controller 120, pressure sensor 111, detector 128, detector 130 are in communication with a controller 106. The controller and communications medium is not limited to any particular form. For example, the controller can be microprocessor-based and programmable. In the illustrated embodiment, the controller is comprised of a main controller 108, which is programmable and microprocessor-based, and a programmable motor controller 110. Main controller 108 controls all of the functions of dispense system except direct motor control. It is connected to a computer or other controller that provides process control in information indicating what amount or volume of process fluid is to be dispensed, and the time in which, or rate at which, the dispensing must occur. The main controller converts this information into corresponding displacement and velocity values for pump 102, and communicates this information to motor controller 110. The motor controller then instructs the motor 104 to move according to the specified distance and velocity, correcting for deformation of a rolling membrane

attached to a displacing mechanism, such as a piston within pump 102, based on the output of pressure sensor 111, in a manner to be subsequently described.

Referring now to FIGS. 2a, 2b and 2c, pertinent details of the pump 102 and motor 104 are schematically illustrated, with the pump being shown in section. The pump's housing is comprised of a base 202 and a cover 204. Disposed within the cover is a solid or rigid piston 206. A flexible membrane 208 is attached to the face 210 of the piston. The membrane extends from the face and attaches to the inside wall of the pump housing to define a pumping chamber 212. In a preferred embodiment, the membrane and piston are formed from a single, unitary piece of Teflon®. The Teflon does not react with fluids used in most semiconductor device fabrication processes. When the piston is in a fully retracted position, as shown in FIG. 2a, the membrane is formed and attached to the piston in way that tends to press it against the inside walls of the housing. This ensures that the membrane will roll onto and off of the piston as the piston moves in and out of the pumping chamber. FIG. 2b illustrates the piston in a partially descended position, with the membrane having a neatly formed roll 214 surrounding the face 210 of the piston. The pumping chamber has an inlet opening 216, through which process fluid will be drawn after it passes through the inlet valve 112 (FIG. 1), and an outlet opening 218, through which process fluid will be exist for dispensing upon the opening of the outlet valve 114 (FIG. 1).

The piston 206 is connected to motor 104 by means of a releasable coupling 220, that permits the motor to be easily separated from the pump head for servicing of the pump head or the motor, as shown in FIG. 2c. The motor, whose mounting is not shown, has an output that moves in a reciprocating manner to pump the piston. The releasable coupling includes a base 302 that attaches to the motor, and removable piece 303, both of which are shown in FIG. 3. The coupling fits around a head portion 224 of mandrel 222 like a collar. With the removable piece removed, the head of the mandrel can be slipped into the base of the coupling. The two pieces are joined together by screws (not shown). To make a strong, reliable connection, the head portion of the mandrel is circumscribed by a ridge that fits within a groove formed on the inside surfaces of the coupling.

The motor includes, in its preferred form, a stepper motor 228 that has a rotational output. To convert the rotational output of the motor movement to a linear, reciprocating movement, a linear actuator 230 couples the output of the stepper motor to the pump. The fastener 220 is connected to the output mandrel of the linear actuator 230 by means of threaded member 232. However, it could be attached in other ways.

Referring now to FIG. 4, with further reference to FIGS. 1 and 2a, 2b and 2c, the dispense cycle is commenced at step 402 by the main controller 108 (FIG. 1) sending a command to the motor controller 110 (FIG. 1) and providing the motor controller with values indicating an initial or baseline distance the piston 206 (FIG. 2a) within the pump is to be displaced and an initial velocity at which it is to be displaced. This distance the piston is to be moved is a function of the amount of process fluid to be dispensed. It is calculated based on the known volume that the piston will displace as a function of the distance without any pressure within the chamber that may cause deformation of the membrane 208 (FIG. 2). The velocity is a function of the rate, or the time in which the dispense must take place and the amount to be dispensed. The dispense command might be sent in response to the main controller, for example, receiving a request from a production process controller or user. The request may specify a certain amount of process fluid and, optionally, a particular dispense rate or time. Alternately, the amount and rate may be programmed in the main controller. The dispense cycle need not commence with the piston at a particular location, so long as there is a sufficient displacement distance available to make the dispense. However, upon powering up of the dispense system, the piston is withdrawn to a fully retracted position, as shown in FIG. 2a.

Upon receiving the dispense command, the motor controller, at step 404, causes the motor to advance the piston at the requested velocity. Once the main controller detects that the motor is moving, it opens outlet valve 114 (FIG. 1) at step 406. At step 408, the motor controller begins an error correction loop by reading pump chamber pressure sensor 111 (FIG. 1). This loop is repeated throughout the displacement stroke of the pump. During the loop, the displacement distance for the piston is constantly updated to correct for stretching of the membrane 208 (FIG. 2). The membrane, which is preferably made of flexible Teflon, will tend to expand or

deform as the chamber pressure increases, especially at high pressures. As a result, fluid which would be expected to exit the chamber as a result of a certain displacement of the pump moves does not, in fact, exit the pumping chamber 212 (FIG. 2). A small portion of the fluid is instead forced into the space created by the expanding diaphragm. Dispense error can be reasonably well approximated as a function of the requested total dispense volume, which is related to the piston advance distance, and the chamber pressure. The chamber pressure during any given dispense is a function of the pump dispense rate and the viscosity of the fluid being dispensed. However, in the preferred embodiment, sensor 111 (FIG. 1) is used to measure the actual pressure within the pumping chamber 212. A dispense error can therefore be calculated, as both variables are known. However, the total expected time for the dispense can be estimated prior to starting the dispense to determine the most efficient way to monitor the chamber pressure and calculate corrections for the dispense error.

At step 410, a dispense error is calculated. In the preferred embodiment, the dispense error is modeled as a function of the pressure within the chamber, as measured by the pressure sensor 111. An equation used for the calculation of the error is, in one preferred embodiment, a second order polynomial  $Ax^2 + Bx + C$ , where  $x$  is the pressure and the coefficients  $A$ ,  $B$  and  $C$  are determined by fitting the equation to empirical data collected from tests that compare expected to amounts that are actually dispensed by the pump, and correlating it to the maximum chamber pressure during dispense. This approximation has been found to provide good results, and provides sufficient accuracy for most current semiconductor device fabrication applications. Once the expected dispense error is calculated a new, updated value for the final motor position, which is a function of the starting position and updated displacement distance, is calculated at step 412 that will compensate for the error. At step 414, a new or updated advance rate for the piston is calculated so that the total dispense time, after adjustments made for the increased displacement of the piston, will be the same as the rate or time originally requested. The motor controller then determines the motor velocity necessary to achieve this advance rate and issues appropriate instructions at step 416.

The pressure within the pump chamber is checked again at step 418 for a sudden drop in pressure that may indicate a problem. If there is such a drop, an alarm

is sent to the main controller. During a typical dispense, the pressure within the pumping chamber will vary, except for an initial drop when the outlet valve 114 (FIG. 1) opens, in a relatively smooth manner. If a mechanical component of the motor or other system driving the pump begins to fail, the chamber pressure during a dispense will likely begin to fluctuate at a higher frequency and with larger amplitude than normal. Therefore, the drive system failures can be detected before they become a serious problem to the user by monitoring the pumping chamber pressure for potentially sharp decreases after the initial decrease when the outlet valve is opened.

This process loops back to step 408 unless, at decision step 420, the motor has reached its final position or the time for the dispense has elapsed. Depending on the amount of process fluid to be dispensed, the loop may occur hundreds of times during a dispense. If the motor has reached its final position or the dispense time has elapsed, the motor is stopped by the motor controller at step 422.

As indicated by step steps 424 and 426, the main controller, once it detects the end of the motor controller dispense sequence will, depending on whether "suck-back" has been requested by a user or process, cause the motor to initiate a suck back sequence at step 428, or jump to step 434 and close the outlet valve 114 (FIG. 1). The suck back sequence refers to retracting or reversing the travel of the piston 206 within the pump 102 (FIG. 2) to cause fluid within a tip or nozzle of the dispenser outlet to retreat far enough into the tip or nozzle to reduce dripping or drying of the fluid. At step 430, the motor controller 110 causes the motor 104 (FIG. 1) to move the piston of the pump in a reverse direction based on velocity and distance values communicated from the main controller 108. A user sets these values depending on the process fluid.

Once the main controller 108 (FIG. 1) detects the end of the suck-back sequence at step 432, it closes the outlet valve 114 at 434 and begins a recharge process. During the recharge process, process fluid is drawn into the pumping chamber 212 (FIG. 2) from the fluid source container 118. The recharge process need not be undertaken after every dispense, depending on process requirements. At step 436, the main controller opens inlet valves 111 and sends, at step 438, instructions to the motor controller to start a recharge sequence. The recharge sequence starts the motor moving, at step 440, towards a recharged or fully retract position, which is

shown in FIG. 2a. It does so at an initial velocity received from the main controller 108. With step 442, a monitoring loop begins. Due to the flexible nature of the membrane 208 (FIG. 2), a negative gauge pressure, which is the difference between atmospheric pressure and the pressure within the chamber, that is too high will cause the membrane to collapse inwardly, toward the center of the pump chamber. This results in deformation of the membrane that requires repairing the pump. Therefore, at step 444, the gauge pressure, which is negative, is checked. If the magnitude of the gauge pressure is low, based on a predetermined minimum value for an acceptable range of operation, the recharge rate can be increased at step 446 by increasing the velocity of the piston 206 (FIG. 2) in pump 102. If, at step 448, the magnitude of the negative gauge pressure is too high, based on a maximum value for an acceptable range of operation, the recharge rate needs to be decreased at step 450 by decreasing the velocity of the piston to avoid collapsing the membrane.

At step 452, the motor controller also monitors the changes in pressure within the pumping chamber measured by the pressure sensor 111. During a typical recharge, the chamber pressure remains relatively constant at some negative gauge pressure. The only time that the chamber pressure would be expected to change significantly during a recharge is if the source bottle becomes empty and air is drawn into the line. Furthermore, during successive recharges the negative gauge pressure in the chamber will tend to decrease as more air is drawn into the line at the source. The chamber pressure is therefore monitored during a recharge or successive recharges for decreases in the negative gauge pressure, or an increase in absolute pressure, to determine if the process fluid source container is empty. Monitoring over successive recharges may be required if the distances that the piston moves in a given recharge sequence does not allow for enough time to detect a gauge pressure decrease within a single recharge. If a source empty condition is detected at step 452 by the motor controller, the recharge is halted by stopping the motor at step 458 and an alarm sent to the main controller at step 456, which in turn alerts the user. This source empty detection method has at least one advantage over a conventional mechanical bubble sensor placed near the source, in that, unlike such a sensor, it does not frequent mechanical adjustment. Second, since bubble sensors have moving parts, they will tend to fail more often. Otherwise, the recharge process continues until the motor has



reached a predetermined final position, which may be a fully retracted "home" position as shown in FIG. 2a or some other predetermined position, or until some elapsed time has occurred. For example, if the recharge is occurring between known dispense processes, the recharge time may be set for the time between the dispense cycles. Alternately, the recharge sequence can be stopped upon receiving a dispense request. Once the main controller detects the end of the recharge sequence at step 460, it closes the inlet valve 111 (FIG. 1) at step 462.

FIGS. 5a, 5b, and 5c are flow diagrams representing an alternative embodiment dispense process for the fluid dispense system of FIG. 1. Referring to FIGS. 5 with further reference to FIGS. 1 and 2a, 2b and 2c, the dispense cycle is commenced at step 502 by the main controller 108 (FIG. 1) sending a command to the motor controller 110. In step 504 a determination is made as to whether the command is for a first dispense. If the command is not for a first dispense, then in step 503, a dispense error is calculated. In the preferred embodiment, the dispense error is modeled as a function of the maximum pressure within the chamber, as measured by the pressure sensor 111, during the first dispense. An equation used for the calculation of the error is, in one preferred embodiment, a second order polynomial  $Ax^2 + Bx + C$ , where  $x$  is the pressure and the coefficients  $A$ ,  $B$  and  $C$  are determined by fitting the equation to empirical data collected from tests that compare expected to amounts that are actually dispensed by the pump, and correlating it to the maximum chamber pressure during dispense. This approximation has been found to provide good results, and provides sufficient accuracy for most current semiconductor device fabrication applications. The membrane flexes and expands in a predictable way that is predominantly a function of the pump chamber pressure and the dispense error provides the amount by which to change the dispense based on the predicted membrane flex.

In step 506, the motor controller calculates an initial dispense correction which is preferably a function of the diaphragm geometry and the dispense volume. The initial dispense correction can be measured empirically and is preferably based on an understanding of the mechanical behavior of the membrane. An equation used for the calculation of the error is, in one preferred embodiment, a second order polynomial  $Ax^2 + Bx + C$ , where  $x$  is the dispense distance and the coefficients  $A$ ,  $B$  and  $C$  are

determined by fitting the equation to empirical data collected from tests that compare expected to amounts that are actually dispensed by the pump, and correlating it to the dispense distance.

In step 507, the motor controller causes the motor to advance the piston based on one or more of the following factors: velocity, distance, dispense correction value, and/or the like. The velocity is preferably a function of the rate or the time in which the dispense is to take place and the amount to be dispensed. The dispense command might have been sent in response to the main controller, for example, receiving a request from a production process controller or user. The request may specify a certain amount of process fluid and, optionally, a particular dispense rate or time. Alternately, the amount and rate may be programmed in the main controller. The distance the piston is to be moved is preferably a function of the amount of process fluid to be dispensed. It is calculated based on the known volume that the piston will displace as a function of the distance without any pressure within the chamber that may cause deformation of the membrane 208 (FIG. 2). The dispense cycle need not commence with the piston at a particular location, so long as there is a sufficient displacement distance available to make the dispense. However, upon powering up of the dispense system, the piston is withdrawn to a fully retracted position, as shown in FIG. 2a.

Once the main controller detects that the motor is moving, it opens outlet valve 114 in step 508. In step 510, the motor controller determines the pump chamber pressure by reading the pump chamber pressure sensor 111 (FIG. 1). In the preferred embodiment, the maximum pressure measured during the dispense is stored. Unlike, the method described with respect to the flow diagram of FIG. 4, the displacement distance for the piston is not constantly updated to correct for stretching of the membrane 208 (FIG. 2). In step 512, the pump chamber pressure is monitored to determine any relatively rapid decrease in the pump chamber pressure. In the event that a rapid decrease in pump chamber pressure is detected, a signal is sent to the main controller indicating detection of a mechanical fault. Thus, a mechanical fault in the pump may be detected by monitoring the pump chamber pressure for any rapid decrease. Accordingly, the method as described above allows the operator to be

warned of an actual failure or a potential future failure allowing the operator to plan for repairs.

In step 514, a determination is made as to whether the pump chamber pressure is above a preset limit. If the pump chamber pressure is above a preset limit, then in step 516 a signal signifying a high pressure condition is generated and the motor is stopped. If the pump chamber pressure is not above the preset limit, then in step 518 a determination is made as to whether the motor has reached the final position. If the motor has not reached the final position then the process starting at step 510 is repeated. If the motor has reached its final position, the motor is stopped by the motor controller in step 520.

As indicated by steps 522 and 524, the main controller, once it detects the end of the motor controller dispense sequence will, depending on whether "suck-back" has been requested by a user or process, cause the motor to initiate a suck back sequence at step 526, or jump to step 544 and close the outlet valve 114 (FIG. 1). The suck back sequence refers to retracting or reversing the travel of the piston 206 within the pump 102 (FIG. 2) to cause fluid within a tip or nozzle of the dispenser outlet to retreat far enough into the tip or nozzle to reduce dripping or drying of the fluid. At step 530, the motor controller 110 causes the motor 104 (FIG. 1) to move the piston of the pump in a reverse direction based on velocity and distance values communicated from the main controller 108. In the preferred embodiment, a user sets these values depending on the process fluid.

In step 532, the motor controller determines the pump chamber pressure by reading the pump chamber pressure sensor 111 (FIG. 1). In step 534, a determination is made as to whether the pump chamber pressure is below a preset limit. If the pump chamber pressure is below a preset limit, then in step 536 a signal signifying a low pressure state is generated and the motor is stopped. If the pump chamber pressure is not below the preset limit, then in step 538 a determination is made as to whether the piston has reached the final suck back position. In the preferred embodiment, pressure detection takes place continuously during movement of the piston. If the piston has not reached the final suck back position then the process starting at step 532 is repeated. If the piston has reached its final position, the motor is stopped preferably by the motor controller in step 540.

Once the main controller 108 (FIG. 1) detects the end of the suck-back sequence at step 542, it closes the outlet valve 114 at 544 and begins a recharge process. During the recharge process, process fluid is drawn into the pumping chamber 212 (FIG. 2) from the fluid source container 118. The recharge process need not be undertaken after every dispense, depending on process requirements. At step 546, the main controller opens inlet valves 111 and sends, at step 548, instructions to the motor controller to start a recharge sequence.

FIG. 5C shows a flow diagram for the motor control recharge sequence. In step 550 a determination is made as to whether the current charge is a first recharge since any recipe parameters were changed. In the preferred embodiment, recipe parameters define various parameters, such as volume to be dispensed, dispense rate, time settings, and/or the like, for the dispense operation. For example, the recipe parameters may specify a dispense volume of three mL to be dispensed in two seconds, and a recharge time of four seconds.

In step 552 a determination is made as to whether an auto-rate function has been requested for the recharge. If an auto-rate function has been requested for the recharge, then in step 600, the auto-rate recharge is executed. The auto-rate recharge process is discussed herein with reference to the flow diagram of FIGURE 6. If an auto-rate recharge function has not been requested then a constant rate recharge process for a first recharge after recipe parameter change (step 560) is executed.

In the preferred embodiment, if the current recharge is not the first recharge since any recipe parameters were changed, then in step 554 a determination is made as to whether an auto-rate function has been requested for the recharge. If an auto-rate function has been requested for the recharge, then in step 556, a determination is made as to whether the current recharge is a second recharge since any recipe parameters were changed. If the current recharge is a second recharge since any recipe parameters were changed then in step 558 the velocity of the motor is set as a function of the maximum velocity determined in the previous auto-rate recharge. A constant rate recharge process for a first recharge after recipe parameter change (step 560) is then executed.

In step 562, the motor controller causes the motor to move towards the recharged position. In step 564, the motor controller determines the pump chamber

pressure by reading the pump chamber pressure sensor 111 (FIG. 1). In the preferred embodiment, in step 566, a determination is made as to whether the currently read pump chamber pressure is higher than any previously recorded pressure encountered during the recharge. If it is, then in the preferred embodiment, the value of the current pressure is recorded as a benchmark value for Software Source Empty Detection (SSED) to be used in subsequent dispenses as discussed hereinafter. In step 568, a determination is made as to whether the pump chamber pressure is below a preset limit. If the pump chamber pressure is below a preset limit, then in step 570, a signal signifying a low pressure condition is generated and the motor is stopped. If the pump chamber pressure is not below the preset limit, then in step 572 a determination is made as to whether the piston has reached the final recharged position. If the piston has not reached the final recharged position then the process starting at step 564 is repeated. If the piston has reached the final recharged position, the motor is stopped preferably by the motor controller in step 574. Once the motor is stopped, in the preferred embodiment, the pump chamber precharge process 700 as described herein with reference to FIGURE 7 is performed.

If the current recharge is not the first recharge since any recipe parameters changed and an auto-rate function has not been requested for the recharge or if the current recharge is a second recharge since any recipe parameters changed, then a constant rate recharge for other than a first recharge since any recipe parameters changed (step 576) is executed. In step 578, the motor controller causes the motor to move towards the recharged position. In step 580, the motor controller determines the pump chamber pressure by reading the pump chamber pressure sensor 111 (FIG. 1). In the preferred embodiment, in step 582, a determination is made as to whether the currently read pump chamber pressure is greater than the SSED benchmark value plus an offset to prevent false alarms. The SSED benchmark relies on the recharge pressure being constant as the recharge rate is constant in a constant rate recharge. If the source bottle becomes empty during a recharge then the pressure will increase as air/gas is pulled into the chamber. Thus, if the currently read pump chamber pressure is greater than the SSED benchmark value plus the offset, then in the preferred embodiment, in step 584, a source empty alarm signal is generated and the motor is stopped. Thus, by comparing the pump chamber pressure with the SSED benchmark

value the source can be monitored to determine if and when a source of the fluid becomes empty. Accordingly, in the preferred embodiment of the present invention, the reliance on calibration to determine when a source is empty is eliminated.

In step 586, a determination is made as to whether the pump chamber pressure is below a preset limit. If the pump chamber pressure is below a preset limit, then in step 588, a signal signifying a low pressure condition is generated and the motor is stopped. If the pump chamber pressure is not below the preset limit, then in step 590 a determination is made as to whether the piston has reached the final recharged position. If the piston has not reached the final recharged position then the process starting at step 580 is repeated. If the piston has reached the final recharged position, the motor is stopped preferably by the motor controller in step 592. In the preferred embodiment, once the motor has stopped the pump chamber precharge process 700 as described herein with reference to FIGURE 7 is performed.

FIG. 6 is a flow diagram 600 representing a preferred embodiment auto-rate recharge process for the fluid dispense system of FIG. 1. If the current recharge is the first recharge since any recipe parameters changed and an auto-rate function has been requested for the recharge, then the auto-rate recharge process of FIG. 6 is executed. The auto-rate recharge sequence starts the motor moving, at step 602, towards a recharged or fully retract position, which is shown in FIG. 2a. It does so at a very low initial velocity preferably received from the main controller 108. In step 604, the pump chamber pressure is measured. The recharge rate is increased (step 608), until the pressure reaches a minimum preset threshold value as determined in step 606. The recharge rate can be increased, for example by increasing the velocity of piston 206. Once the pressure reaches the minimum preset threshold value, a determination is made in step 610 as to whether the pressure is too low based on a minimum value for an acceptable range of operation. If the pressure is too low, then the recharge rate is decreased at step 612 preferably by decreasing the velocity of the piston to avoid collapsing the membrane. In step 614, the maximum velocity attained is recorded. The recorded maximum velocity may be used with subsequent dispenses.

In step 616 a determination is made as to whether the motor has reached the final position. If the motor has not reached the final position then the process starting at step 604 is repeated. If the motor has reached its final position, the motor is

stopped by the motor controller in step 618. In step 620, the main controller detects the end of the recharge sequence and in step 622, the main controller closes the input valve 111.

FIG. 7 is a flow diagram 700 representing a preferred embodiment pump chamber precharge process for the fluid dispense system of FIG. 1. In step 702, all valves are closed, preferably by the main controller, so that the pump is sealed. In step 704, the motor controller determines the pump chamber pressure by reading the pump chamber pressure sensor 111 (FIG. 1). In step 706, a determination is made as to whether the pump chamber pressure is greater than a preset precharge pressure. In the preferred embodiment, the preset precharge pressure is 5 psig. If the pressure is greater than the preset precharge pressure, then in step 708 the pump piston is moved back until the pump chamber pressure is below the desired precharge pressure by a predetermined amount. In the preferred embodiment, the predetermined amount is 3 psig and the desired precharge pressure is 5 psig. In step 712, the pump is moved forward until the pump chamber pressure is at the desired precharge pressure.

In the preferred embodiment, the process of FIG. 7 is executed at the end of any operation that moves the pump piston. Because of the nature of the membrane used in the fluid dispense system of FIG. 1, it is difficult to control the pressure of the pump chamber before a dispense. This is because of the tendency of the membrane to roll, flex, crinkle and/or become permanently stretched during its service life. The preferred embodiment pump chamber precharge process of FIG. 7 compensates for one or more of these characteristics of the membrane.

Also, it is desirable that before each dispense, the membrane is rolled properly and ready for the next dispense. The advantage of the pump chamber precharge process of FIGURE 7, is that each dispense starts from the desired precharge pressure. As a result, consistency and repeatability of the process can be maintained over the service life of the membrane.

FIG. 8 is a flow diagram 800 representing a preferred embodiment auto-rate feature for pulling fluid into the chamber in the dispensing system of FIG. 1. In step 802, the motor controller causes the motor to move the piston so as to increase the pump chamber volume. The increase in the pump chamber volume results in a decrease in the pump chamber pressure causing the fluid to be pulled in. In the

preferred embodiment, in step 803, the input valve of the pump is opened preferably by the main controller. In step 804, the motor controller determines the pump chamber pressure by reading the pump chamber pressure sensor 111 (FIG. 1). The motor velocity is increased (step 808), until the pressure reaches a preset minimum limit as determined in step 806. In the preferred embodiment, the preset minimum limit is -8 psig. Once the pressure reaches the preset minimum limit, a determination is made in step 810 as to whether the pressure is lower than a minimum value for an acceptable range of operation. In the preferred embodiment, the minimum value for an acceptable range of operation is -10 psig. If the pressure is lower than the minimum value for an acceptable range of operation, then the motor velocity is decreased. In step 814 a determination is made as to whether the piston has moved the requested distance. If the piston has not moved the requested distance then the process starting at step 804 is repeated. If the piston has moved the requested distance, then in step 815 the motor controller stops the motor. In step 816, the main controller closes the input valve.

FIG. 9 is a flow diagram 900 representing a preferred embodiment auto-rate feature for pushing fluid out of the chamber in the dispensing system of FIG. 1. In step 902, the motor controller causes the motor to move the piston so as to decrease the pump chamber volume. The decrease in the pump chamber volume results in an increase in the pump chamber pressure causing the fluid to be pushed out. In the preferred embodiment, in step 903, the output valve of the pump is opened preferably by the main controller. In step 904, the motor controller determines the pump chamber pressure by reading the pump chamber pressure sensor 111 (FIG. 1). The motor velocity is increased (step 908), until the pressure reaches a preset maximum limit as determined in step 906. In the preferred embodiment, the preset maximum limit is 85 psig. Once the pressure reaches the preset maximum limit, a determination is made in step 910 as to whether the pressure is higher than a maximum value for an acceptable range of operation. In the preferred embodiment, the maximum value for an acceptable range of operation is 100 psig. If the pressure is higher than the maximum value for an acceptable range of operation, then the motor velocity is decreased. In step 914 a determination is made as to whether the piston has moved the requested distance. If the piston has not moved the requested distance then the



process starting at step 904 is repeated. If the piston has moved the requested distance, then in step 915 the motor controller stops the motor. In step 916, the main controller closes the output valve.

The flow diagram of ~~FIGURE~~ 8 is preferably used when the pump piston is moving backwards and drawing fluid into the chamber. The flow diagram of FIGURE 9 is preferably used when the pump piston is moving forwards and pushing fluid out of the chamber. The pressure in the chamber depends on various factors, for example, the velocity of the piston, fluid viscosity, plumbing attachment to the pump, and/or the like. One advantage of the auto-rate processes of FIGS. 8 and 9 is that the velocity of the piston can be automatically adjusted so that the pump chamber pressure is close to the maximum or minimum allowable depending on whether the fluid is being pushed out of the chamber or being pulled into the chamber. Because the pressure in the pump chamber is adjusted automatically, another advantage of the processes of FIGS. 8 and 9 is that during priming of the pump, the pump operator does not have to monitor the pressure based on the viscosity of the fluid or how the pump is plumbed. Moreover, the priming operation is much faster than conventional manual setup operations which generally require the operator to adopt a trial and error method of setting up the pump, which requires experimentation based on the viscosity of the fluid and plumbing of the pump.

The closed loop pressure feedback from the pump chamber as described herein provides several advantages. For example, dispense correction, pressure limit detection, auto-rate functionality for moving the fluid into, out or through the pump, source empty detection, mechanical fault detection and/or the like.

Although the different embodiments of the present invention have been described above in terms of a main controller and a motor controller the invention is not so limited and in alternative embodiments a single controller can be used for performing the various functions.

Moreover, although in the different embodiments of the present invention as discussed above, the pressure sensor is incorporated in the pump the invention is not so limited. In alternative embodiments, the pressure sensor may be hydraulically linked to the pump chamber, for example through an orifice shaped and sized to allow transmission of the pressure signal generated in the pump chamber. In yet other

alternative embodiment, the pressure sensor may be located in close proximity to the pump to allow the sensor to sense the pressure in the pump chamber.

The forgoing description is made in reference to one exemplary embodiment of the invention. However, the embodiment may be modified or altered without departing from the scope of the invention.

#### 4 Brief Description of Drawings

In the appended drawings,

FIG. 1 is schematic diagram of a fluid dispensing system.

FIG. 2a is a schematically illustrated motor and pump, which shown in partial section, used in the dispense system of FIG. 1.

FIG. 2b is a schematically illustrated motor and pump, which is shown in partial section, used in the dispense system of FIG. 1.

FIG. 2c is a schematically illustrated motor and pump, which is shown in partial section, used in the dispense system of FIG. 1.

FIG. 3 is a perspective drawing of a coupling for a connecting the motor and pump shown in FIGS. 2a, 2b and 2c.

FIGS. 4a, 4b, 4c and 4d are flow diagrams representing a preferred embodiment dispense process for the fluid dispense system of FIG. 1.

FIGS. 5a, 5b, and 5c are flow diagrams representing an alternative embodiment dispense process for the fluid dispense system of FIG. 1.

FIG. 6 is a flow diagram representing a preferred embodiment auto-rate recharge process for the fluid dispense system of FIG. 1.

FIG. 7 is a flow diagram representing a preferred embodiment pump chamber precharge process for the fluid dispense system of FIG. 1.

FIG. 8 is a flow diagram representing a preferred embodiment auto-rate feature for pulling fluid into a chamber of the dispensing system of FIG. 1.

FIG. 9 is a flow diagram representing a preferred embodiment auto-rate feature for pushing fluid out of a chamber of the dispensing system of FIG. 1.

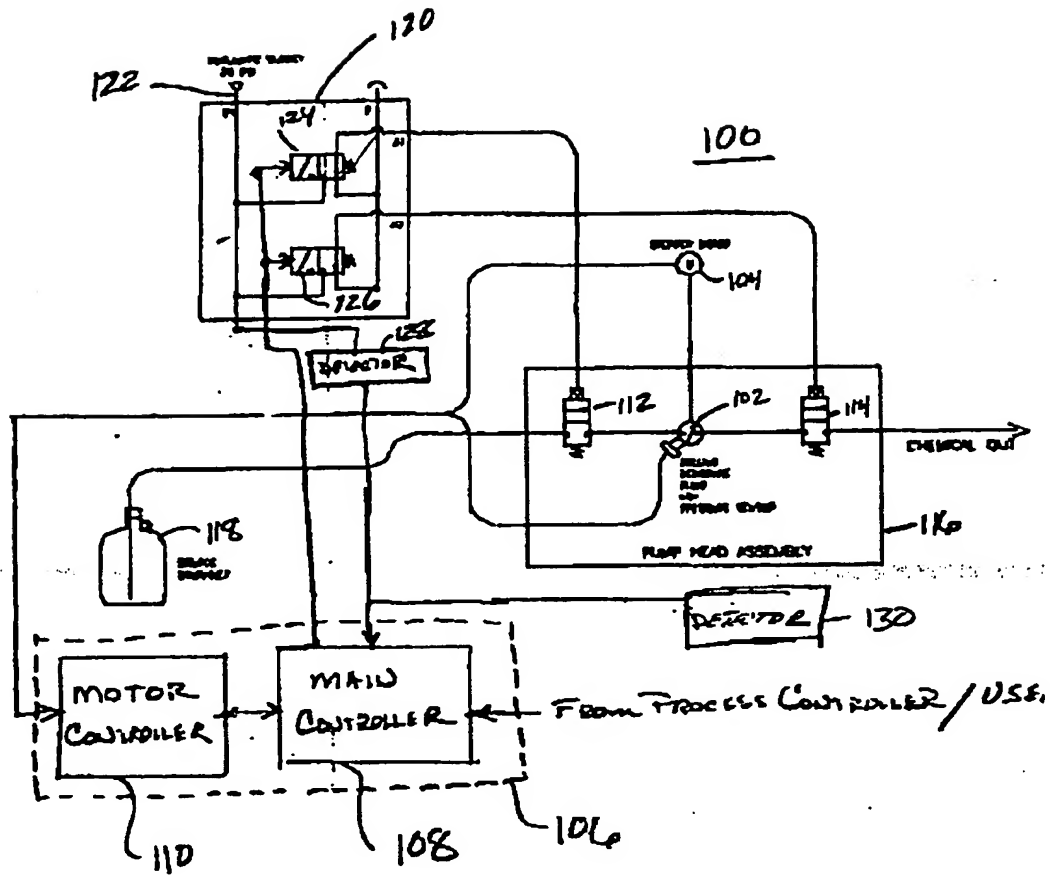


Fig. 1

Fig 2a

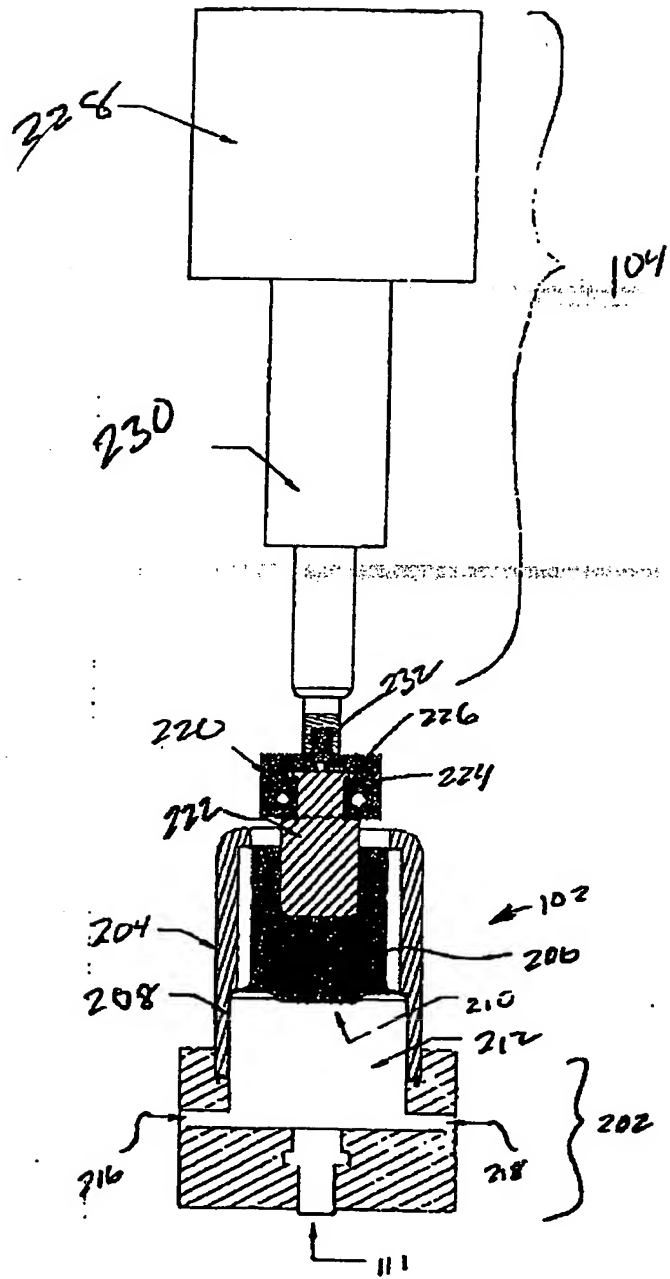
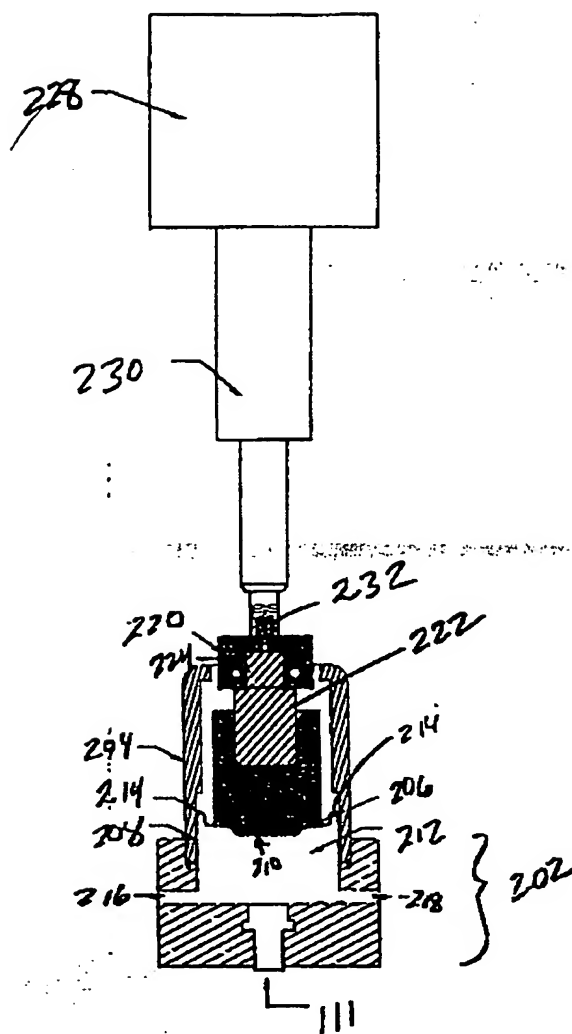


Fig. 20



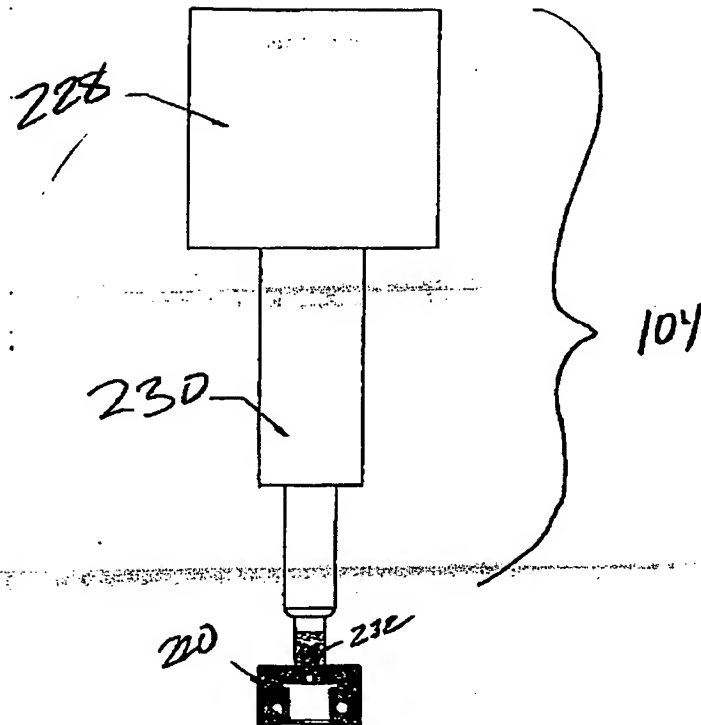
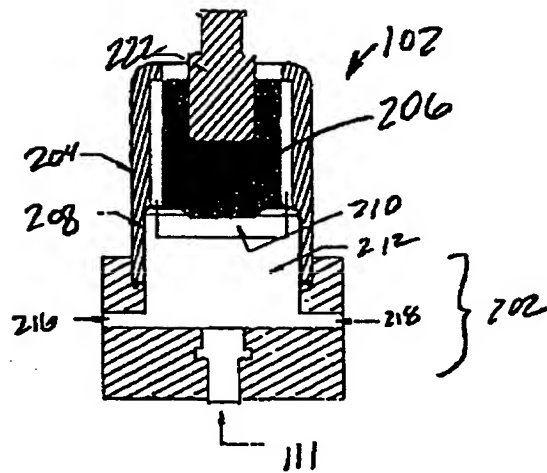


Fig. 2c



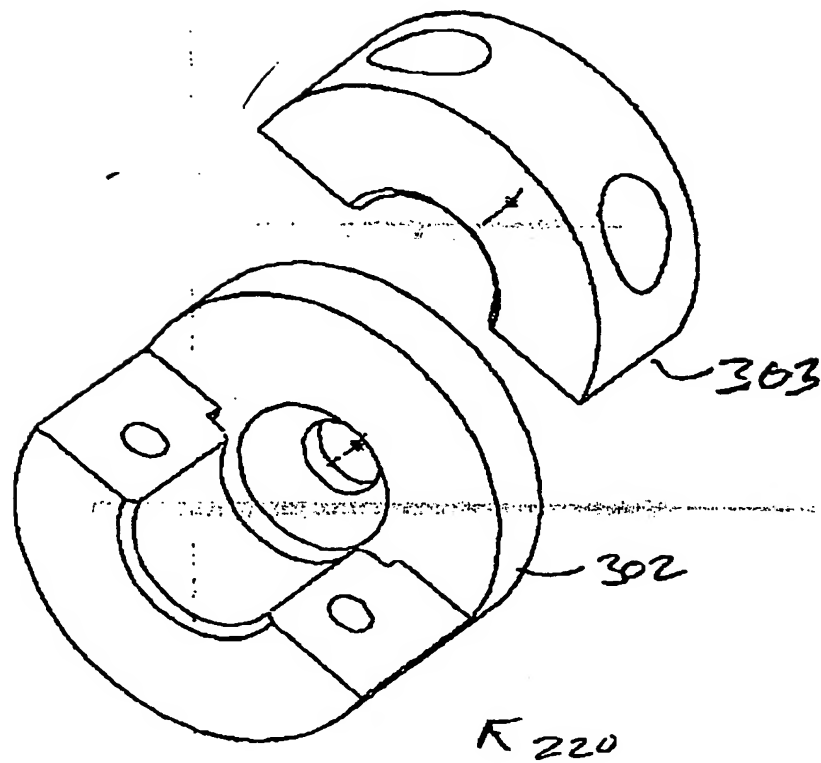
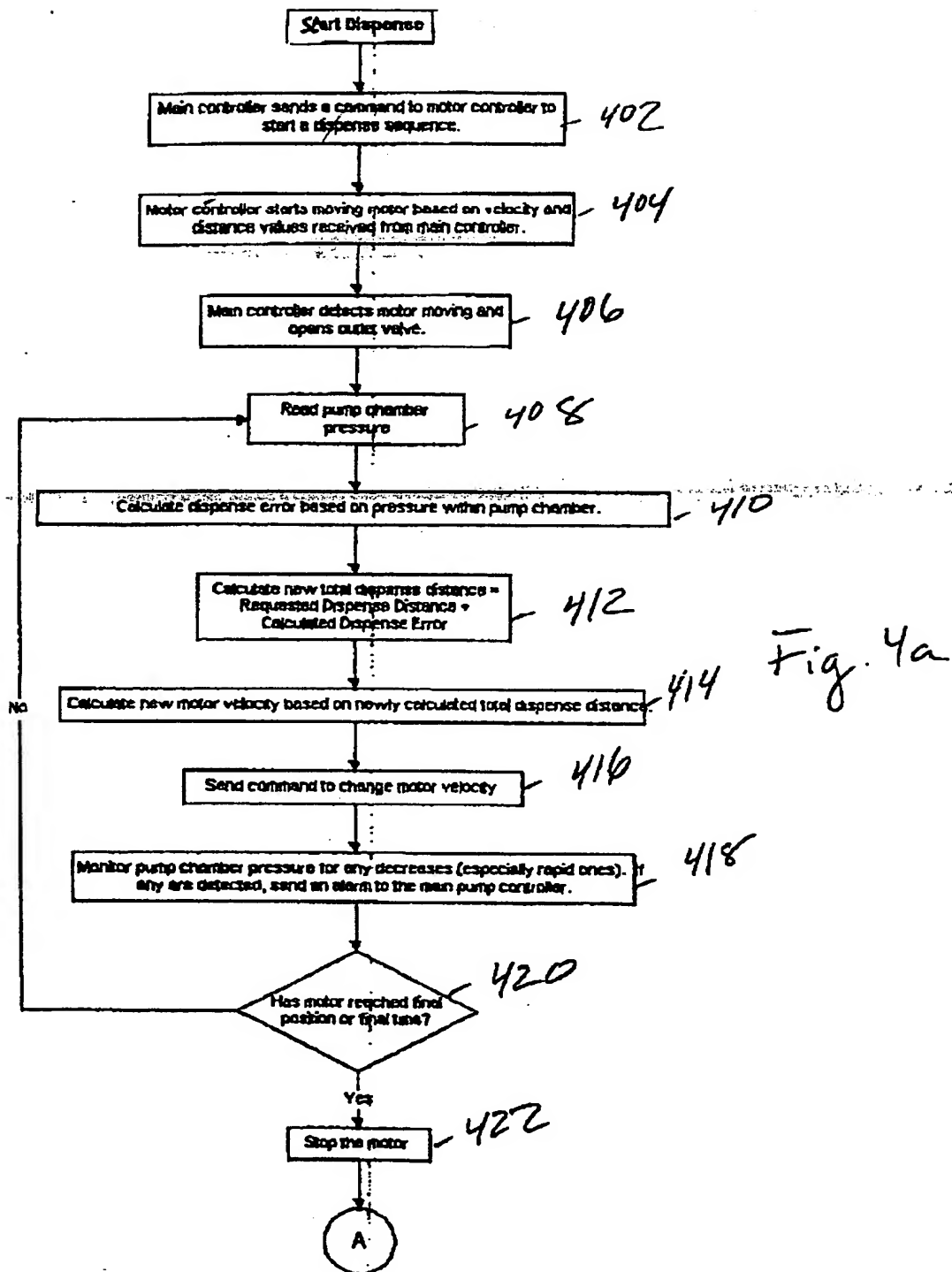


Fig. 3





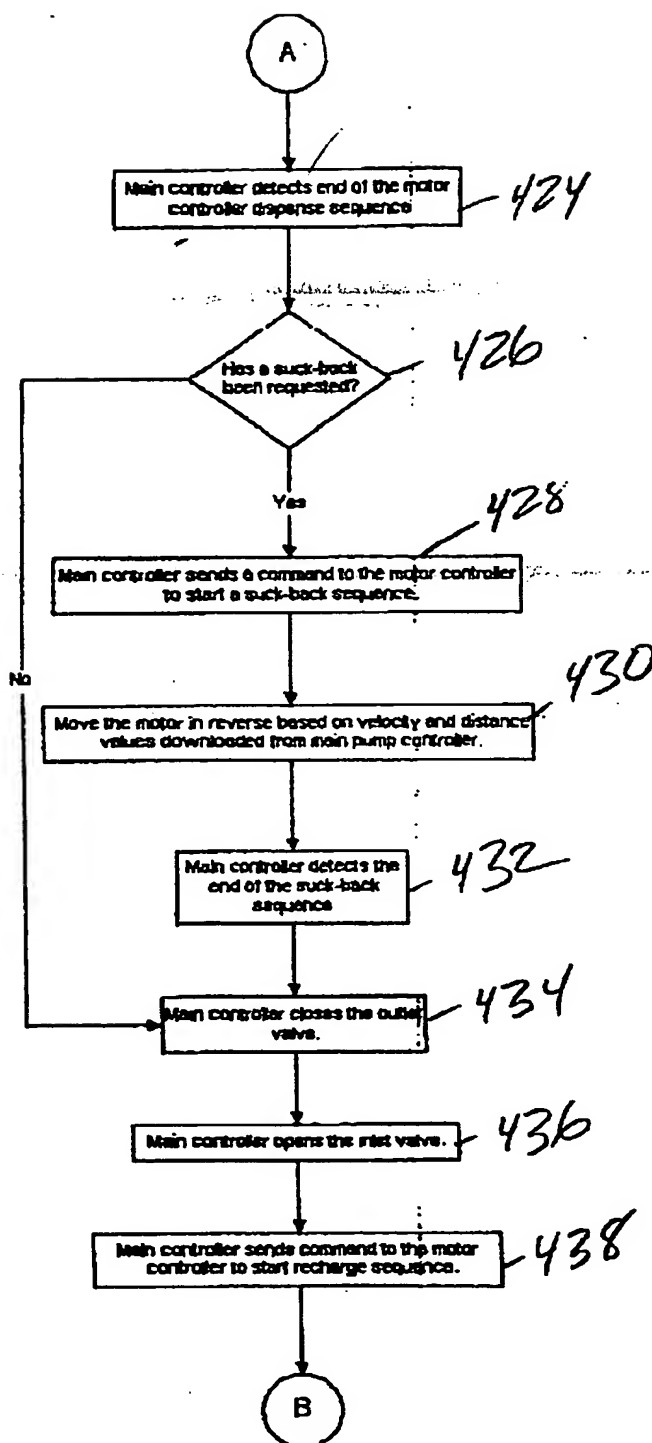


Fig. 4b

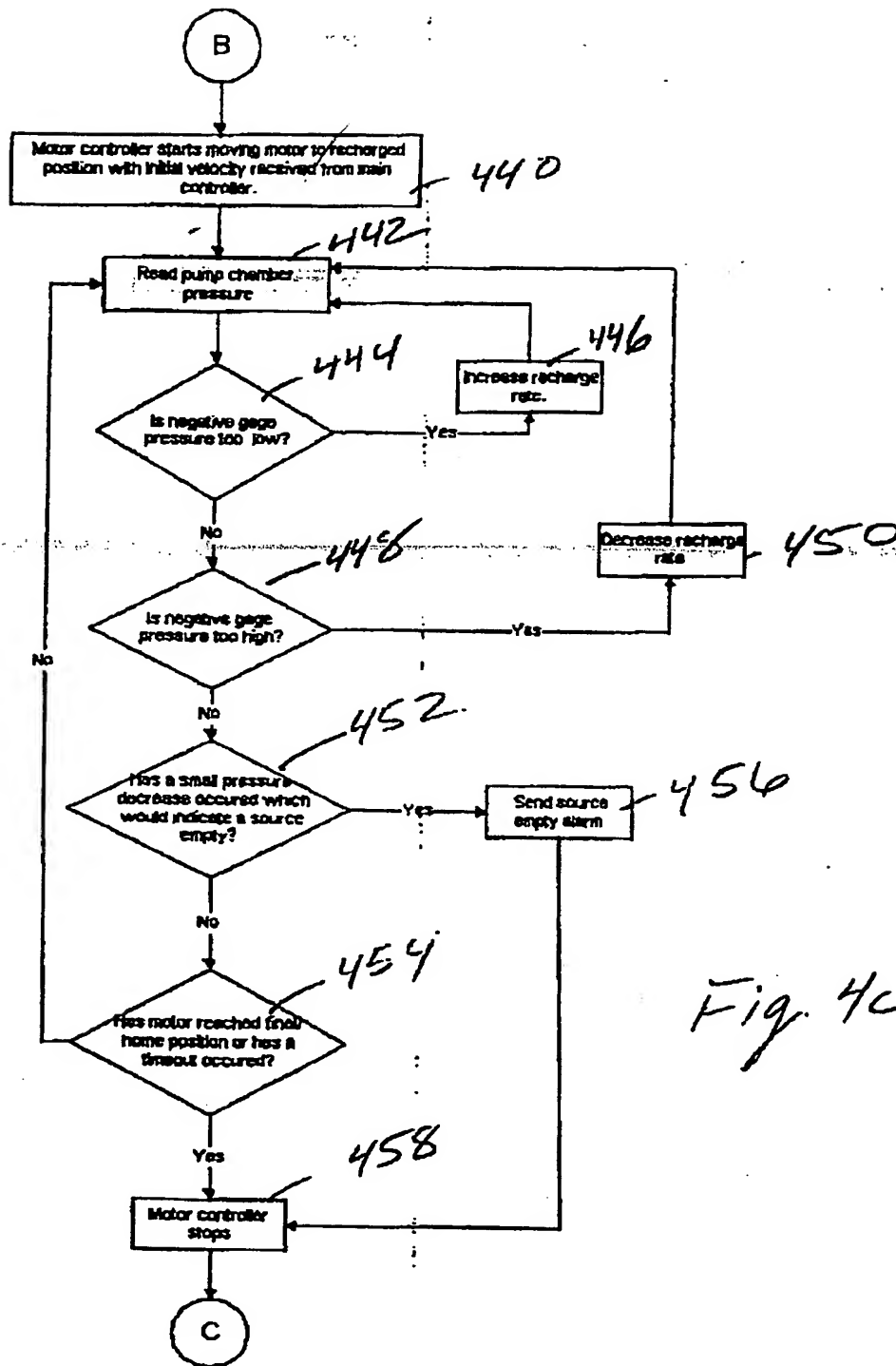
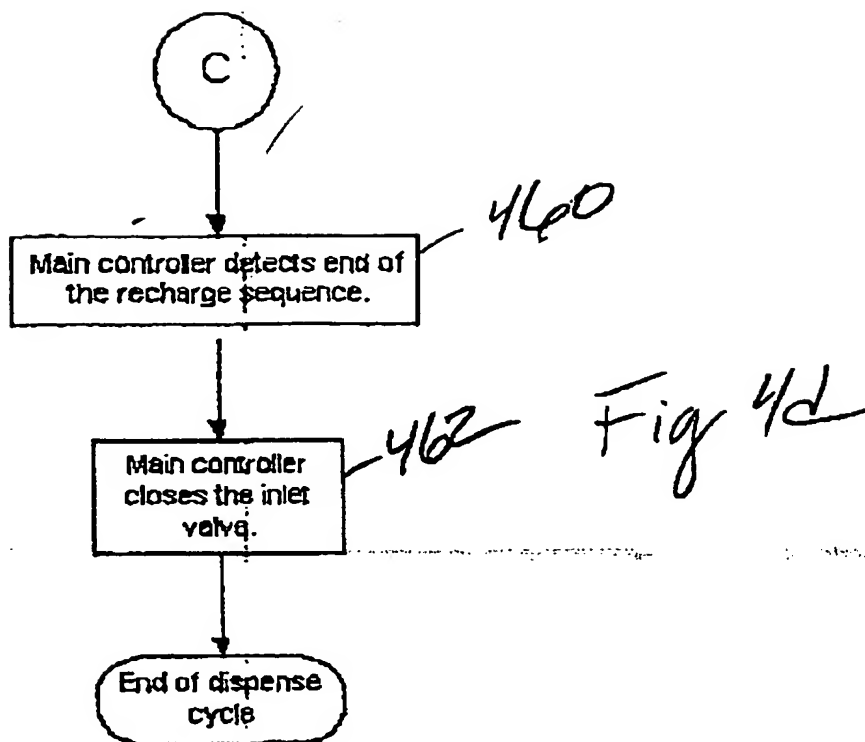


Fig. 4c



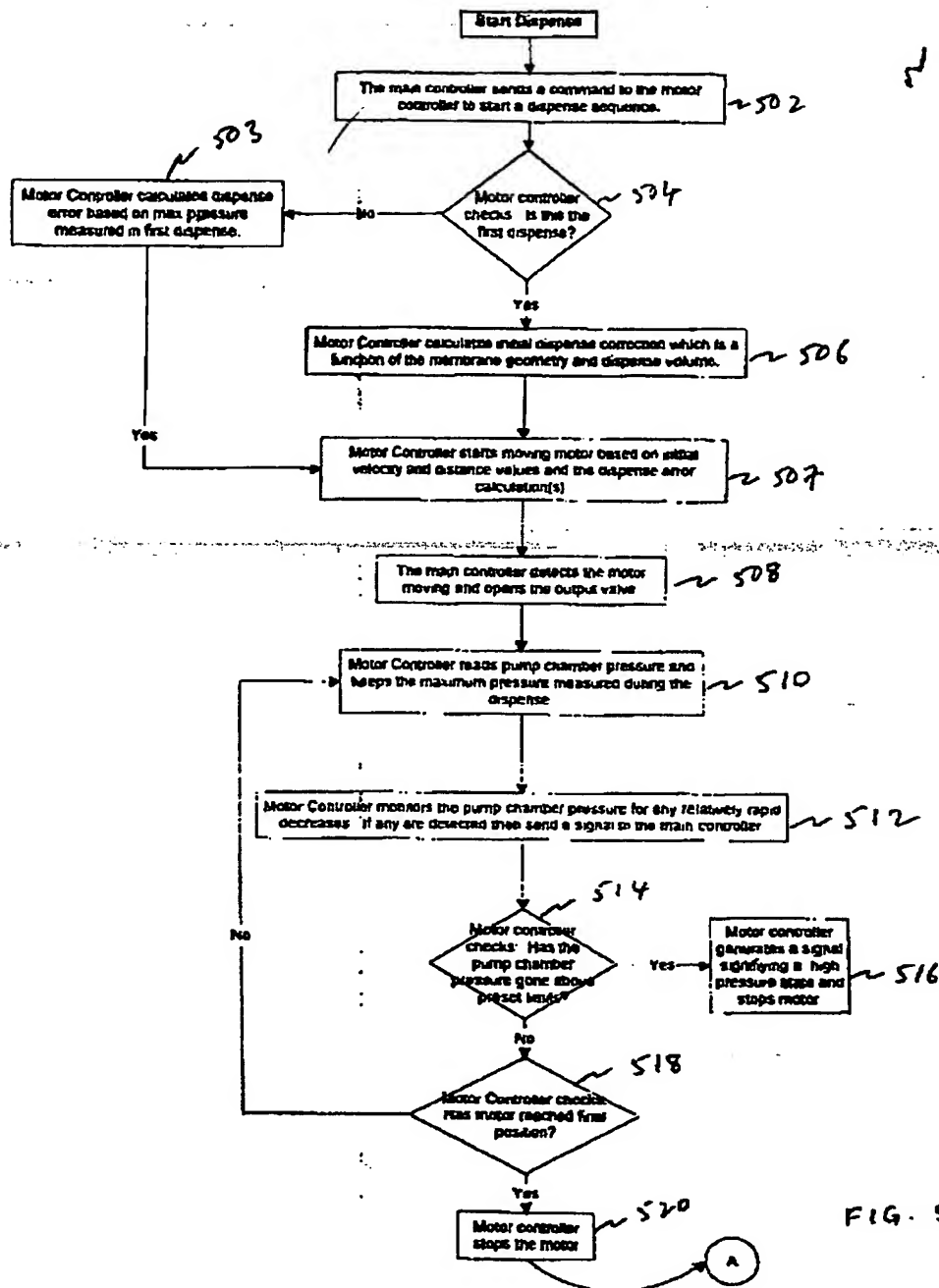
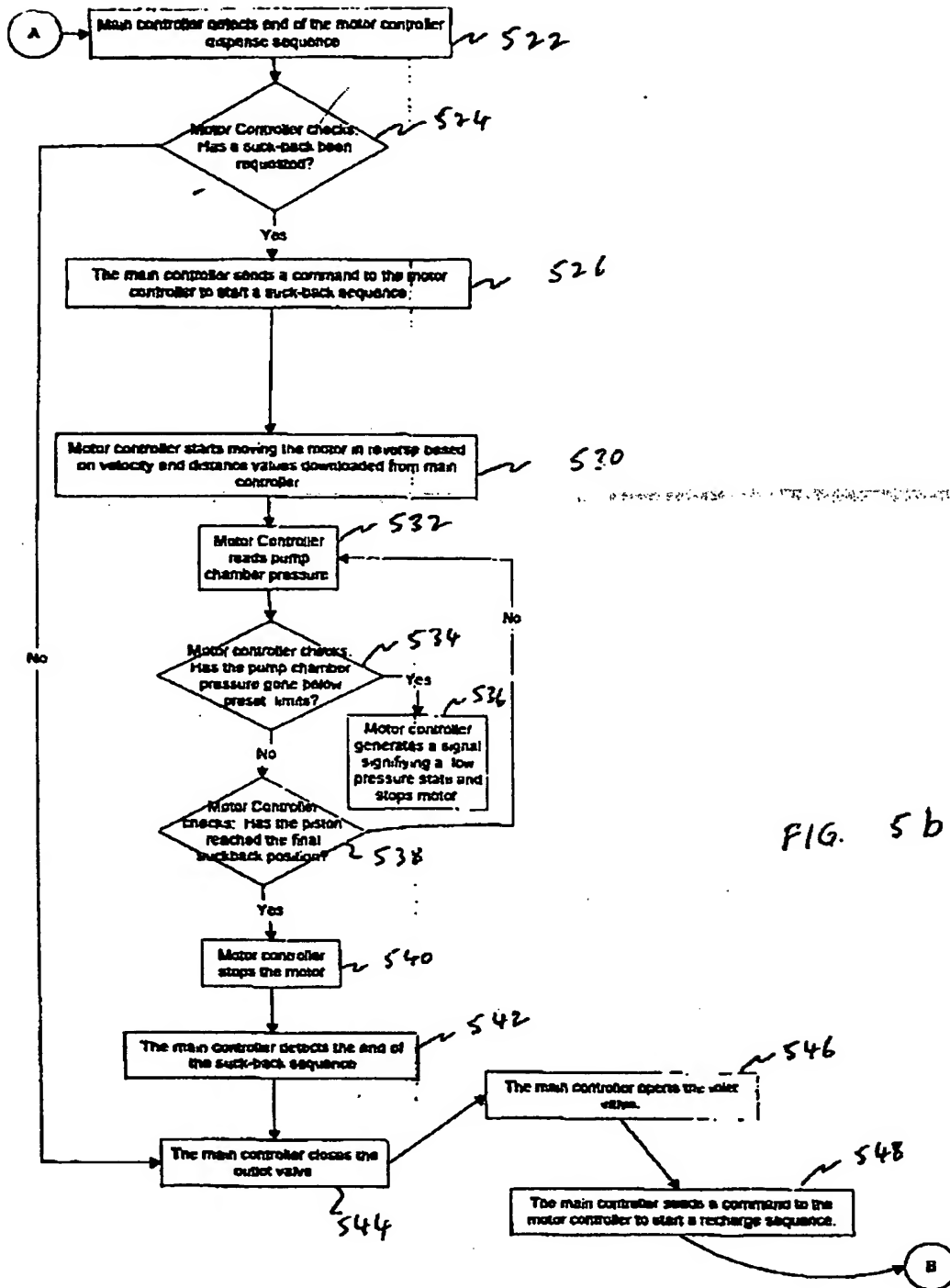


FIG. 5a



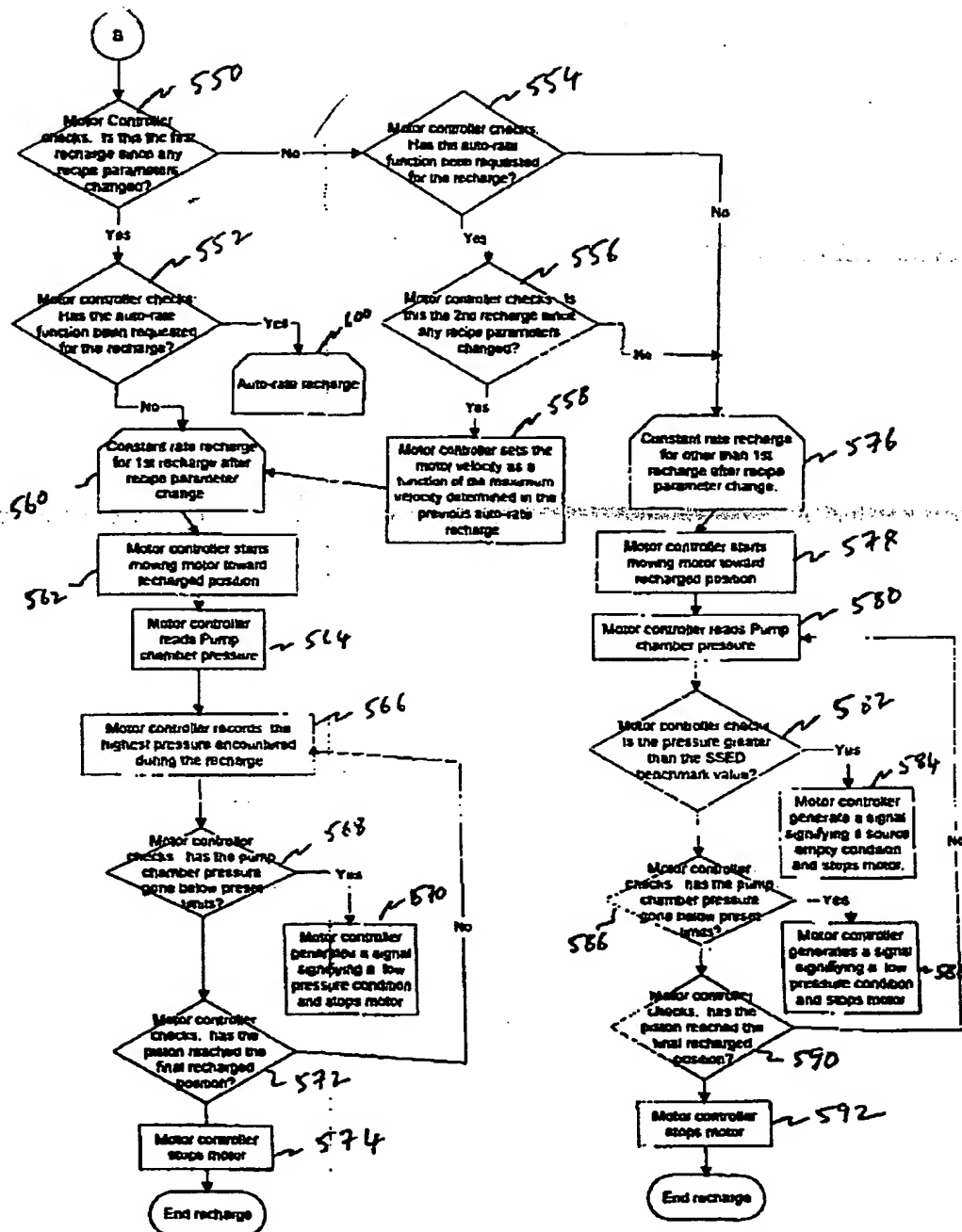
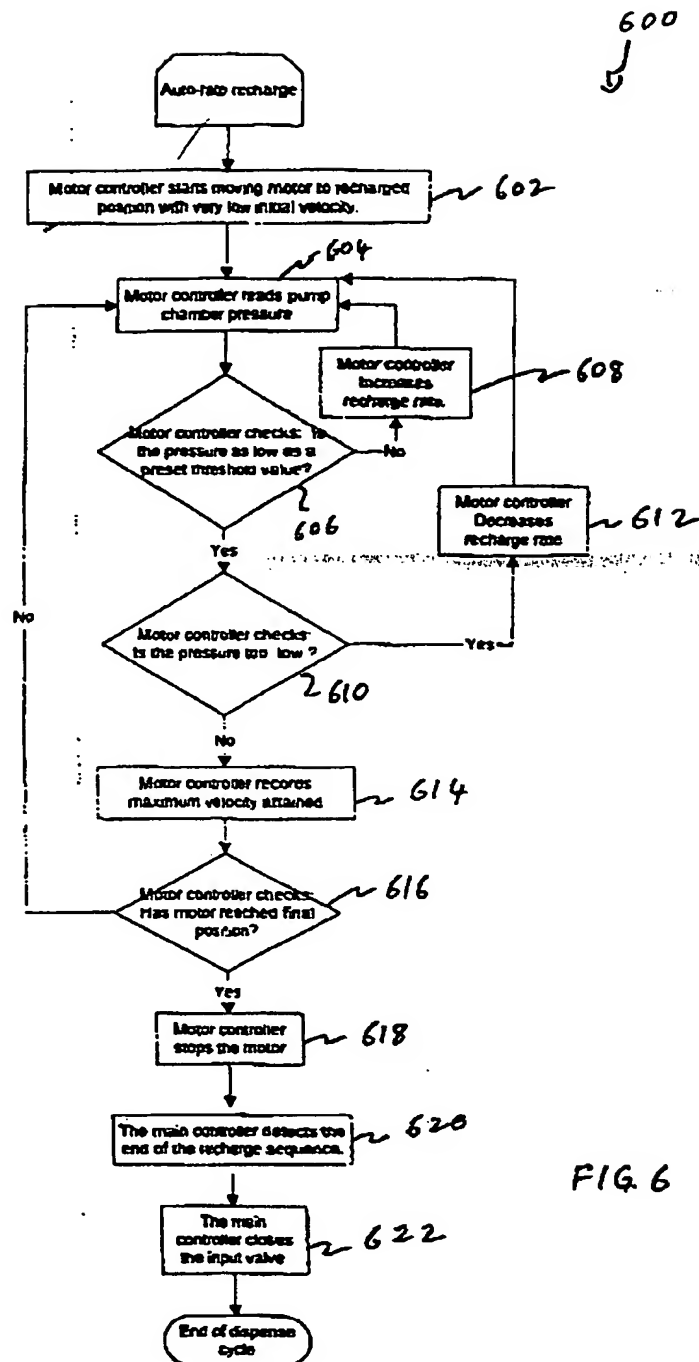


FIG. 5C



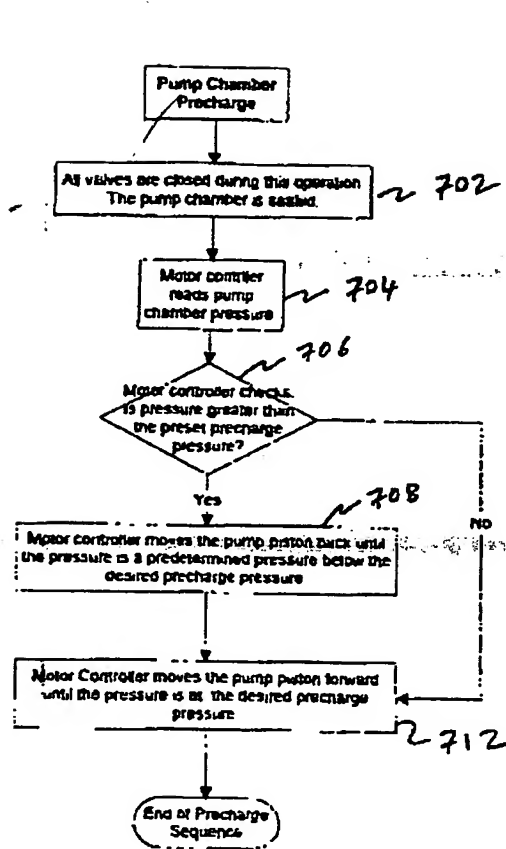


FIG. 7



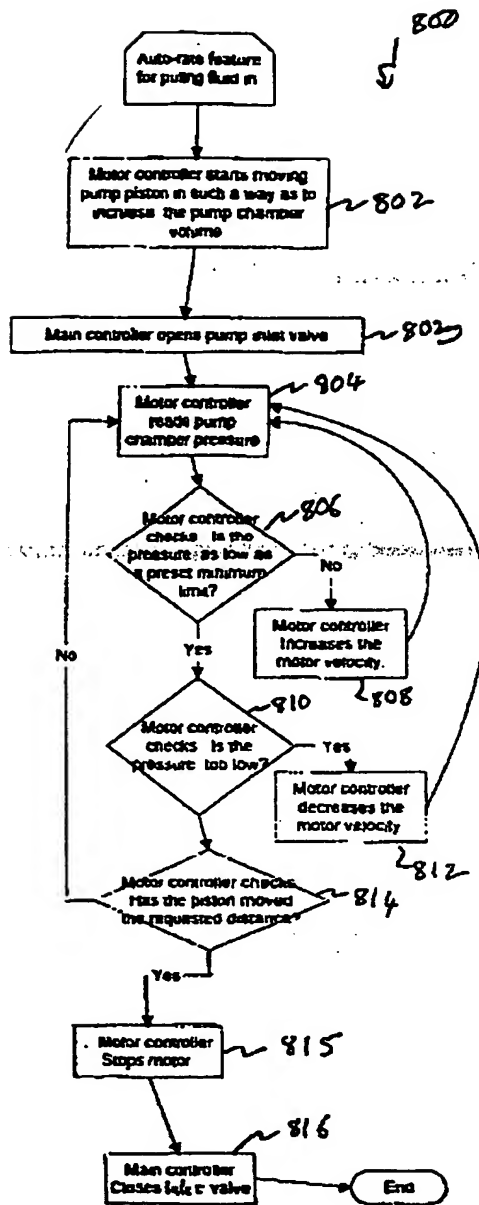


FIG. 8

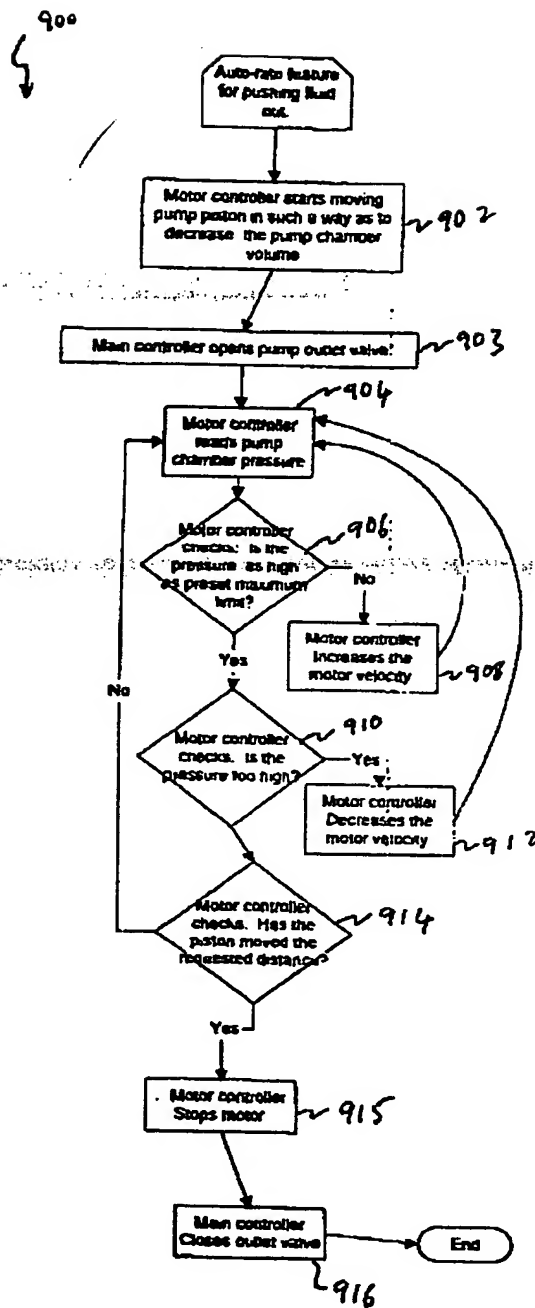


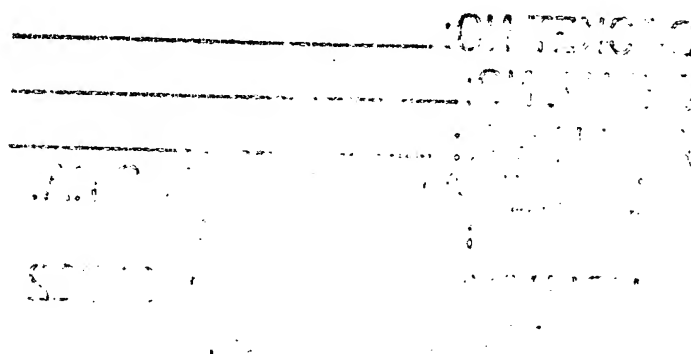
FIG. 9

## 1 Abstract

A method and system for dispensing a precise amount of a fluid utilizing a rolling membrane pumping system is disclosed. In the preferred embodiment, the method comprises calculating an amount by which to change a dispense based at least in part on a predicted membrane flex if a particular dispense is other than a first dispense, wherein said predicted membrane flex is based at least in part on a maximum pump chamber pressure during the first dispense; calculating an amount by which to change a dispense based at least in part on a shape of the membrane if a particular dispense is a first dispense; moving a piston in the pumping system based at least in part on the calculated amount; opening an output valve of the pumping system; monitoring the pump chamber pressure to detect a sudden decrease in said pump chamber pressure to signal a mechanical failure in the pumping system; and determining a maximum pressure in the pump chamber during the movement of the piston.

## 2 Representative Drawing

FIG. 1



DOCKET NO: \_\_\_\_\_

SERIAL NO: \_\_\_\_\_

APPLICANT: \_\_\_\_\_

LERNER AND GREENBERG P.A.

P.O. BOX 2480

HOLLYWOOD, FLORIDA 33022

TEL. (954) 925-1100

Patent Number: JP2001203196  
Publication date: 2001-07-27  
Inventor(s): RAYMOND T SEIVAADO; JOHN C VINES  
Applicant(s): INTEGRATED DESIGNS LP  
Requested Patent: JP2001203196  
Application Number: JP20000318343 20001018  
Priority Number(s):  
IPC Classification: H01L21/31; F04B43/02  
EC Classification:  
Equivalents: TW466301

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a method and a system for dispensing a precise amount of fluid utilizing a rolling membrane pumping system.

**SOLUTION:** The method includes a process where the amount of changed dispense is calculated based on a membrane flex which is at least partially predicted if a particular dispense is other than a first dispense. Further, following steps are included: the predicted membrane flex is at least partially based on a maximum pump chamber pressure during the first dispense, the amount of dispense change is calculated based at least on the membrane shape if the particular dispense is the first one, the piston of the pumping system is operated at least partially based on the calculated amount, the outlet valve of the pumping system is opened, the pump chamber pressure is monitored to detect an abrupt drop of the pump chamber pressure, the mechanical failure in the pumping system is reported with signal, and the maximum pressure of the pump chamber is measured during the movement of the piston.

Data supplied from the **esp@cenet** database - I2

[illegible]

DOCKET NO: TEROIP 23380

SERIAL NO: \_\_\_\_\_

APPLICANT: Manfred Weigl

LERNER AND GREENBERG P.A.

P.O. BOX 2480

HOLLYWOOD, FLORIDA 33022

TEL. (954) 925-1100

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 02/04379

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 7 F04B43/04

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 F04B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 01 57488 A (WEIGL MANFRED ;SIEMENS AG (DE)) 9 August 2001 (2001-08-09) cited in the application the whole document	1-7
A	US 6 110 410 A (ANDERSON CARL R ET AL) 29 August 2000 (2000-08-29) column 6, line 34 -column 6, line 53; figure 3	1
A	DE 197 43 337 C (SIEMENS AG) 7 January 1999 (1999-01-07) cited in the application abstract; figure	1
A	JP 2001-203196 A (INTEGRATED DESIGNS LP) 27 July 2001 (2001-07-27) figure 2	1

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*Z\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

24 April 2003

Date of mailing of the international search report

06/05/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Pinna, S

INTERNATIONAL SEARCH REPORT  
information on patent family members

International Application No  
PCT/DE 02/04379

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)	Publication date
WO 0157488	A	09-08-2001	DE / WO EP	10004614 A1 0157488 A1 1252492 A1	16-08-2001 09-08-2001 30-10-2002
US 6110410	A	29-08-2000	US US CA WO	5554013 A 5302093 A 2187756 A1 9527852 A1	10-09-1996 12-04-1994 19-10-1995 19-10-1995
DE 19743337	C	07-01-1999	DE AT DE EP US	19743337 C1 214782 T 59803415 D1 0905356 A2 6082102 A	07-01-1999 15-04-2002 25-04-2002 31-03-1999 04-07-2000
JP 2001203196	A	27-07-2001	TW US US	466301 B 2003062382 A1 6478547 B1	01-12-2001 03-04-2003 12-11-2002

DOCKET NO: TEROIP 23380  
 SERIAL NO: \_\_\_\_\_  
 APPLICANT: Hauked Weigl  
 LERNER AND GREENBERG P.A.  
 P.O. BOX 2480  
 HOLLYWOOD, FLORIDA 33022  
 TEL. (954) 925-1100